



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y PROGRAMACIÓN EN MATLAB  
DEL MÉTODO DE GRUPOS ADYACENTES  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RETARDO EN  
EL CAMBIO DE CANAL EN SISTEMAS IPTV  
(INTERNET PROTOCOL TELEVISION)**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

PRESENTAN:

**MARLENE ESCOBAR ARGOTA  
RICARDO LÓPEZ MORENO**

ASESORA DE TESIS:

**DRA. FATIMA MOUMTADI**



CD. UNIVERSITARIA

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

*A mis padres por el apoyo incondicional que me dieron para poder cumplir con esta meta. Por sus desvelos acompañando los míos y por el amor y comprensión que me han dado en cada uno de mis tropiezos.*

*A mis hermanas Lizbeth y Larissa por su tolerancia y comprensión, por el cariño y apoyo que siempre me han brindado.*

*A mis amigos, Avril Meza, Daniel Aguilar, Juan Carlos Arroyo, Arturo Gutiérrez, Arturo Gallardo, Miguel Ángel Pérez, porque gracias a ellos comprendí que la universidad tiene otro significado, la amistad.*

*A la Dra. Fátima por el apoyo y motivación que de ella siempre recibí.*

*Y a Ricardo López por ser parte de este proyecto, por su tolerancia, apoyo y comprensión, pero sobre todo por el amor que me ha dado. Gracias por ser parte de esto y por estar conmigo cada vez que lo necesito.*

*Marlene Escobar Argota*

*A mi familia por todo su cariño y comprensión, en especial a mis padres, que gracias al apoyo que me brindaron logré concluir esta meta*

*A todos mis amigos con los que conviví en la facultad y con los que compartí hermosos momentos en esta etapa de mi vida. Gracias por su Amistad*

*A nuestra asesora, la Dra. Fátima, por sus consejos y paciencia lo largo de este proyecto.*

*Y a Marlene por la amistad, amor y compañía que siempre me has otorgado. Gracias por acceder a cumplir este propósito conmigo.*

*Ricardo López Moreno*

---

---

## Índice

Introducción.....	1
Objetivo.....	2
Definición del Problema.....	3
Aportaciones.....	3
Estructura de la Tesis.....	3
1. Televisión Digital y Medios de Transmisión.....	5
1.1 Sistema de Televisión Digital (DTV).....	5
1.1.1 Formatos de Resolución de Imagen.....	6
1.1.2 Estándares de DTV.....	8
1.1.3 Ventajas de DTV.....	10
1.2 Medios de Transmisión de DTV.....	12
1.2.1 DTV Terrestre.....	13
1.2.2 DTV por Cable.....	14
1.2.3 DTV por Satélite.....	15
1.2.4 DTV por ADSL.....	16
1.3 <i>Triple Play</i> .....	17
1.3.1 Arquitectura de <i>Triple Play</i> .....	18
1.3.2 Ventajas de <i>Triple Play</i> .....	19
1.3.3 <i>Triple Play</i> en México.....	19
1.4 IPTV ( <i>Internet Protocol Television</i> ).....	23
2. Arquitectura de IPTV.....	25
2.1 Estructura del Sistema.....	25
2.1.1 Adquisición de Señales de video.....	27
2.1.2 Almacenamiento y Servidores de video.....	29
2.1.3 Distribución del Contenido.....	30
2.1.4 Equipo de Acceso y de Subscriptor.....	46
2.1.5 Software de Servicio.....	47
2.2 Aplicaciones y Servicios de IPTV.....	49
2.3 Ventajas de IPTV.....	50
2.4 Implementación de IPTV en el Mundo.....	52
3. Escenario del Cambio de Canal en Sistemas IPTV.....	53
3.1 Proceso del Cambio de Canal en Sistemas IPTV.....	53
3.2 Factores que Afectan el Tiempo de Cambio de Canal.....	57
3.2.1 Procesamiento en el Comando de Solicitud de Cambio.....	58
3.2.2 Retardo en la Red.....	58
3.2.3 Procesamiento y Almacenamiento en el STB.....	60
3.2.4 Retardo Debido al Proceso de Descriptación.....	62
3.2.5 Retardo Debido al Proceso de Decodificación.....	62

---

---

4. Optimización del Retardo en el Cambio de Canal.....	63
4.1 Propuestas de Optimización del Retardo en el Cambio de Canal....	64
4.1.1 Optimización en la Decodificación.....	64
4.1.2 Optimización en la Descriptación.....	64
4.1.3 Optimización en la Implementación en el STB.....	64
4.1.4 Optimización en el Diseño de la Red.....	65
4.2 Optimización del Retardo en el Cambio de Canal Utilizando el Método de Grupos Adyacentes.....	67
4.2.1 Concepto.....	67
4.2.2 Tabla de Información de Grupos Multicast del <i>Home Gateway</i> .....	67
4.2.3 Proceso de Cambio de Canal con el Método de Grupos Adyacentes Implementado.....	69
5. Modelado y Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes.....	72
5.1 Características de Modelo Propuesto.....	72
5.2 Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes para Casos Prácticos.....	73
5.3 Resultados.....	74
5.4 Análisis de Resultados.....	81
Conclusiones.....	84
Referencias.....	86
Apéndices.....	88
A. Lista de Acrónimos.....	88
B. Código Fuente en MATLAB.....	90

---



---

## Índice de Figuras

1.1 Distribución de Estándares de DTV Alrededor del Mundo.....	10
1.2 Esquema de Recepción de TDT.....	13
1.3 Sistema de Televisión Digital Vía Cable.....	14
1.4 Recepción de Televisión Digital Vía Satélite.....	15
1.5 Configuración de la Recepción de Televisión Vía Satélite.....	16
1.6 Arquitectura de <i>Triple Play</i> .....	18
2.1 Módulos de la Estructura del Sistema IPTV.....	26
2.2 Flujo Multicast.....	31
2.3 Configuración PIM-SM.....	32
2.4 Configuración PIM-DM.....	33
2.5 Transmisión <i>Unicast</i> y Transmisión <i>Multicast</i> .....	34
2.6 Miembros y no Miembros de Grupo.....	35
2.7 Ancho de Banda y Servicios.....	39
2.8 División del Espectro de Frecuencias de ADSL.....	40
2.9 División del Espectro de Frecuencias de ADSL 2+.....	41
2.10 ADSL 2+ Duplica la Velocidad de <i>Downstream</i> a Distancias Cortas.....	42
2.11 Velocidad de Transmisión vs. Distancia en VDSL.....	43
2.12 FTTx Basada en PON.....	44
2.13 Oferta de Servicios.....	48
3.1 Escenario del Cambio de Canal.....	54
3.2 <i>Channel Overlap</i> .....	59
3.3 Diagrama de Tiempos de Retardo en la Red.....	60
3.4 Baja Calidad en el Video a Causa de un Alto Grado de Jitter y un Buffer Pequeño.....	61
4.1 Retardo en la Red y en el STB.....	63
4.2 Popularidad de un Canal.....	66
4.3 Proceso de Adquisición de Grupo en el <i>Home Gateway</i> .....	70
4.4 Proceso de Abandono de Grupo en el <i>Home Gateway</i> .....	71
5.1 Diagrama del Diseño del Sistema IPTV a Simular.....	71
5.2 Resultados para 100 canales y 50 usuarios a) 1° Escenario b) 2° Escenario.....	74
5.3 Resultados para 100 canales y 50 usuarios a) 3° Escenario b) 4° Escenario.....	74
5.4 Resultados para 200 canales y 50 usuarios a) 1° Escenario b) 2° Escenario c) 3° Escenario d) 4° Escenario.....	75
5.5 Resultados para 50 canales y 50 usuarios a) 1° Escenario b) 2° Escenario c) 3° Escenario d) 4° Escenario.....	75
5.6 Resultados para 100 canales y 100 usuarios a) 1° Escenario b) 2° Escenario c) 3° Escenario d) 4° Escenario.....	76
5.7 Resultados para 100 canales y 25 usuarios a) 1° Escenario b) 2° Escenario c) 3° Escenario d) 4° Escenario.....	76
5.8 Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales adyacentes a) 25 usuarios, b) 50 usuarios, c)100 usuarios d) Diferencia entre ambas metodologías.....	77

---

5.9	Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales aleatorios a) 25 usuarios, b) 50 usuarios, c)100 usuarios d) Diferencias entre ambas metodologías.....	78
5.10	Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales adyacentes a) 50 usuarios, b) 100 usuarios, c)200 usuarios d) Diferencia entre ambas metodologías.....	79
5.11	Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales aleatorios a) 50 usuarios, b) 100 usuarios, c)200 usuarios d) Diferencia entre ambas metodologías.....	80

---

---

## Índice de Tablas

1.1 Comparación entre los Formatos de Resolución de TV.....	7
1.2 Comparación entre Medios de Transmisión de DTV.....	17
2.1 Distribución de Direcciones IP.....	35
4.1 Tabla de Información del <i>Home Gateway</i> .....	67
4.2 Tabla de Grupos Multicast para Dos Canales Adyacentes.....	68
5.1 Resultados de la Simulación de los Cuatro Escenarios.....	82

## Introducción

Comunicaciones de voz, Internet a alta velocidad y distribución de contenidos audiovisuales conforman un trío de servicios único en el que el sector de las telecomunicaciones mundial está poniendo todos sus esfuerzos de desarrollo y crecimiento para los próximos años bajo la comercial denominación de *Triple Play*. Este modelo de negocio convergente ha iniciado su despliegue en algunos países.

La convergencia tecnológica de televisión, Internet y telefonía es ya una realidad que ofrece enormes ventajas para todos, máxime si se tiene en cuenta que, desde el punto de vista del negocio, fomentará alianzas entre los operadores de telecomunicaciones, sin que ello suponga bajar la guardia en términos de competencia, sino todo lo contrario.

A lo anterior se añade la convergencia no sólo tecnológica sino de gestión de todos los servicios del usuario en una sola factura, donde la sencillez marca la elección e incrementa la fidelidad del mismo.

Las operadoras cuentan con el beneficio de centrarse más en un plan de desarrollo paulatino de nuevos servicios, de calidad de red y de más capacidad, y menos en la costosa y agresiva estrategia comercial de captación de clientes.

La convergencia tecnológica en las redes de comunicaciones es una tendencia imparable en todo el mundo propiciada por la extensión del protocolo IP, la base de Internet, que está convirtiendo en interoperables entre sí todas las redes, servicios y terminales.

La llamada convergencia transformará, en el futuro cercano, la forma en que los usuarios perciben la televisión. Las tendencias actuales apuntan hacia la denominada IPTV (*Internet Protocol Television*) que es el resultado de la convergencia de Internet y Televisión para distribuir contenido de televisión sobre la red IP, solución que permite una experiencia del usuario más personalizada e interactiva y la generación de mayores ingresos para los operadores que brinden este servicio.

Entre otras cosas, IPTV le permitirá a usuarios que están separados geográficamente, ver una película en forma simultánea, mientras intercambian archivos y tienen una sesión de *Chat*. IPTV usa una señal de transmisión de dos vías enviada a través de la red y servidores del proveedor, permitiéndoles a los usuarios seleccionar contenido por demanda, cambiarla en el tiempo, y tomar ventaja de otras opciones interactivas. El usuario deberá tener una conexión de banda ancha y un dispositivo que permita enviar y recibir los requerimientos.

La implementación de IPTV permite a las empresas de servicio conocer los gustos y hábitos de sus clientes, generando la posibilidad de nuevos ingresos.

En el corto o mediano plazo, ante la baja de los precios de banda ancha, esta modalidad deberá ser adoptada por los diferentes operadores para mejorar sus ingresos y complementar sus actuales ofertas de transmisión de voz y datos.

Sin embargo IPTV aún presenta problemas a resolver. Uno de ellos es el tiempo de retardo en el cambio de canal, comúnmente llamado "*zapping time*". Éste es un problema crítico a resolver para la aceptación total del sistema por parte del usuario.

En la televisión digital tradicional por cable el STB (*Set Top Box*) tiene la capacidad de recibir todos los canales del sistema en forma simultánea; así cuando el usuario cambia de canal el receptor transmite de manera instantánea el canal solicitado. IPTV por el contrario, envía solo un programa a la vez, y cada vez que se cambia el canal o se selecciona otro programa, un nuevo flujo de contenido se transmite del proveedor del servicio directamente al STB del usuario; esto genera un retardo que en algunas ocasiones puede ser molesto para el usuario.

El retardo en el cambio de canal en cualquier sistema de transmisión de televisión digital depende de varios factores:

- Tiempo de procesamiento del comando
- Tiempo de retardo en la red.
- Tiempo de retardo en el STB.
- Tiempo de decodificación

Esta tesis se enfoca sólo en el tiempo de retardo en la red, el cual solamente existe en IPTV.

## **Objetivo**

Mostrar la importancia y necesidad de mejorar la Calidad de Experiencia (QoE) del usuario del sistema IPTV. Analizar la arquitectura del sistema IPTV para proponer un método que optimice el retardo en el cambio de canal, reduciendo el retardo en la red, en específico el tiempo de adquisición a un nuevo canal. Desarrollar un programa en MATLAB que simule la implementación del método de Grupos Adyacentes en un sistema IPTV para probar su eficiencia [1].

## Definición del Problema

Existen diferencias entre los servicios de transmisión de televisión tradicionales y los de IPTV. En los servicios de televisión tradicionales el STB recibe todos los canales simultáneamente. Cuando un usuario cambia de canal, el STB capta inmediatamente la señal y muestra el canal solicitado. Por el contrario en IPTV no se puede transmitir todos los canales a la vez debido a la insuficiencia en el ancho de banda, por lo tanto no se tendrán disponibles en el STB. Esto conlleva a tener tiempos muy elevados en el cambio de canal que son necesarios optimizar para aumentar la QoE del usuario y así obtener una adopción total del sistema.

## Aportaciones

Con la elaboración de este trabajo de tesis se pretende contribuir a resolver un problema que se presenta en la implementación de IPTV, éste es el tiempo de retardo en el cambio de canal. Con la implementación del método propuesto se reduciría el tiempo de retardo en la red, sin embargo es necesario trabajar en los otros factores que influyen en este tiempo de retardo.

El contar con tiempos óptimos de cambio de canal, permitirá la aceptación del sistema entre los usuarios.

## Estructura de la Tesis

### Introducción

Da una introducción al tema así como el objetivo que se pretende alcanzar con la realización de esta tesis y las aportaciones de la misma.

### Capítulo 1. Televisión Digital y Medios de Transmisión

Contempla la definición de un sistema de televisión digital, formatos de resolución de imagen, estándares de transmisión de televisión digital así como sus medios de transmisión. Además abarca lo que es *Triple Play*, tanto la definición como la arquitectura y finalmente da una introducción de IPTV como una consecuencia de *Triple Play*.

## Capítulo 2. Arquitectura de IPTV

Presenta la arquitectura del sistema, partes que lo construyen y su función dentro del sistema. Presenta las aplicaciones y servicios que aporta un sistema de IPTV un panorama de su implementación alrededor del mundo y las ventajas y desventajas del sistema.

## Capítulo 3. Escenario del Cambio de Canal en Sistemas IPTV.

Se describe el proceso a seguir para realizar el cambio de canal en un sistema IPTV, la señalización que se sigue y los protocolos empleados. Además se describen los factores que afectan el retardo en el cambio de canal.

## Capítulo 4. Optimización del Retardo en el Cambio de Canal Mediante el Método de Grupos Adyacentes.

En la primera parte de este capítulo se plantean distintas propuestas para reducir el tiempo de retardo en el cambio de canal. La segunda parte del capítulo consiste en la representación y descripción del funcionamiento del método de Grupos Adyacentes para optimizar el retardo [1].

## Capítulo 5. Modelado y Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes.

Se plantea el modelo sobre el cual se va a trabajar la simulación así como las consideraciones a tomar para el análisis. Una vez realizada la simulación y obtenidos los resultados de la misma, se procede, en este capítulo al análisis de los resultados arrojados basándonos en las gráficas obtenidas y considerando las condiciones iniciales del sistema.

## Conclusiones

Ofrece las conclusiones generales de este trabajo de tesis en base a los objetivos planteados.

## 1. Televisión Digital y Medios de Transmisión

En la llamada sociedad de la información vivimos una acelerada transformación, impulsada por nuevos medios para crear y comunicar, mediante tecnologías digitales. Se están digitalizando flujos de información, comunicaciones y mecanismos de coordinación en muchos sectores de la sociedad. Y ello se traduce, incluso, en la aparición progresiva de nuevas formas de organización social y productiva.

En ese sentido, la actual transición digital de la televisión y la radio es un proceso planetario, cuyo origen se da en las sociedades industrializadas más maduras, pero involucra y afecta de inmediato a los demás países.

La televisión analógica que vemos hoy es una tecnología aislada de otros medios, que codifica y decodifica generaciones de señales de video, con la consecuente pérdida de resolución de la imagen. En cambio, la DTV (*Digital Televisión*) o Televisión Digital funciona con archivos digitales que se transcodifican a diversos servicios de video.

En otras palabras, la llamada transición digital, acelerada por Internet, la banda ancha del espectro electromagnético y el uso extendido de computadoras y redes, nos hace pasar de una televisión analógica basada en la difusión, a un conjunto de servicios de video digital sustentados en el acceso.

### 1.1 Sistema de Televisión Digital (DTV)

La televisión digital es una nueva tecnología de transmisión multicast que está transformando la experiencia como telespectador. Las imágenes y sonidos son capturados usando la tecnología digital, proveyendo una calidad de imagen y sonido como las del cine. También permite la multidifusión y funciones interactivas, esto significa mejor calidad, más selección, y más control sobre el televisor.

Hay muchos niveles de calidad en la transmisión de televisión digital. A pesar de que existen alrededor de 18 formatos de resolución, las más comúnmente usadas por las estaciones de difusión son:

SDTV (Standard Definition Television)  
EDTV (Extended Definition Television)  
HDTV (High Definition Television)

### 1.1.1 Formatos de Resolución de Imagen

#### **SDTV (Standard Definition Television)**

SDTV es el nivel de calidad de transmisión más básico que puede visualizarse tanto para análogo como para digital. La transmisión de SDTV puede estar en un formato tradicional (4:3) o en formato de pantalla ancha (16:9), esto se refiere al cociente de la relación de aspecto<sup>1</sup>. Las transmisiones SDTV digital y analógica pueden emitir una resolución de hasta 480i (escaneo entrelazado) aunque en la analógica puede ser menor. La resolución alcanzada puede ser de alrededor de 338 000 píxeles. [2]

#### **EDTV (Extended Definition Television)**

EDTV es una transmisión de televisión digital de mejor calidad que la SDTV, también llamada 480p (progresiva). La EDTV tiene un formato de pantalla o relación de aspecto de (16:9) y tradicional (4:3) y proporciona una imagen de calidad superior que la de SDTV pero no tan buena como la de HDTV. [2]

Debido a que las señales de EDTV utilizan un escaneo progresivo tienen cerca del 50% más resolución vertical que una imagen SDTV con el mismo número de líneas. Debido al alto nivel de coherencia espacial de los marcos progresivos respecto a los campos entrelazados, EDTV no incrementa la cantidad de ancho de banda utilizado proporcionalmente al mayor número de píxeles mostrados por segundo.

El uso de EDTV en vez de SDTV permite a las estaciones de DTV difundir múltiples programas mientras incrementan la calidad de la transmisión estándar.

#### **HDTV (High Definition Television)**

El comité ATSC (*Advanced Television System Comitee*) de Estados Unidos y otros organismos han definido que la alta definición se considera material que tenga aproximadamente el doble de resolución que la televisión convencional analógica, es decir 486 líneas visibles tanto en el plano horizontal como en el vertical, y una proporción de imagen de 16:9.

HDTV en formato de pantalla grande (16:9) es la que provee la mejor resolución y calidad de imagen de todas las transmisiones en formato digital. La resolución ofrecida es de 920000 píxeles (modo 720P) o 2000000 píxeles (modo 1080i), permitiendo así un increíble detalle en la imagen. Los formatos más comunes son 720p (escaneo progresivo) y 1080i (escaneo entrelazado). [2]

---

<sup>1</sup> Relación de aspecto o aspect ratio de una imagen es la proporción entre su anchura y su altura. Se calcula dividiendo la anchura de la imagen visible en pantalla entre la altura, y se expresa normalmente de la forma "X:Y".

En combinación con la tecnología de sonido envolvente, la HDTV logra un número de parámetros de sonido e imagen de calidad en televisión. Las imágenes HDTV son hasta 5 veces más definidas que las de la televisión de definición normal.

El tamaño 1080 x 1920 que se usa en HDTV está muy cerca del tamaño 2K utilizado para el material de película, lo que hace que la diferencia entre el cine y la televisión sea cada vez menor. [3]

La tabla 1.1 muestra una comparación de los distintos formatos de resolución de imagen.

Tabla 1.1 Comparación entre los Formatos de Resolución de TV [2]

	<b><i>SDTV</i></b>	<b><i>EDTV</i></b>	<b><i>HDTV</i></b>
<b><i>Calidad</i></b>	Provee buenas imágenes sin interferencias	Provee mejor resolución de imagen, nitidez y color	Provee la mejor resolución de imagen, nitidez y color
<b><i>Resolución</i></b>	480 líneas entrelazadas de resolución	Por lo menos 480 líneas progresivas de resolución	Hasta 1080 líneas de resolución. Los formatos más comunes son 720p y 1080i
<b><i>Relación de Aspecto</i></b>	4:3	4:3 y 16:9	4:3 y 16:9
<b><i>Sonido</i></b>	Sonido envolvente digital multicanales. Incluyendo Dolby Digital 5:1	Sonido envolvente digital multicanales. Incluyendo Dolby Digital 5:1	Sonido envolvente digital multicanales. Incluyendo Dolby Digital 5:1

### 1.1.2 Estándares de DTV

En el año 1982 el CCIR (Consultative Committee for International Radiocommunications), desarrolló el estándar de Televisión Digital CCIR-601 (actualmente ITU-R. BT.601). Este fue el primer estándar internacional de Televisión Digital desarrollado para trabajar en estudios. Esta señal en video es la señal SDI (Serial Digital Interface) de 270 Mbps y en audio se estandarizó la señal "AES/EBU".

A poco más de 20 años, el ITU-R. BT.601 sigue vigente hoy día, aunque posteriormente, se han desarrollado otros estándares, complementado y ampliando a éste. [4]

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) definió en los años 1990 los principales estándares para la teledifusión digital, con lo cual se inició el actual movimiento mundial de migración o transición hacia la digitalización total de la producción y la transmisión de televisión.

#### **ATSC (*Advance Television System Committee*)**

El estándar digital estadounidense ATSC se publicó en mayo de 1993 por la FCC (Federal Communications Commission) de los Estados Unidos, la cual asignó una porción del espectro radioeléctrico para la DTV.

Recibe por antenas externas y se limita a la provisión de HDTV o una combinación de SDTV tal que la suma no pase de 19.6 Mbps para el canal de 6 MHz de ancho de banda.

Características principales:

- Utiliza compresión MPEG-2 y audio AC-3
- Velocidad de transmisión de 19.6 Mbps
- Varias resoluciones entre SDTV y HDTV
- Doble relación de aspecto, 16:9 y 4:3
- Admite servicios complementarios
- Apta para transmisión terrena y por cable
- Diseñado para un canal de 6 MHz.

#### **DVB (*Digital Video Broadcasting*)**

El *DVB Project*, consorcio iniciador de la DTV en Europa, se creó el 10 de septiembre de 1993 y lanzó su estándar DVB en 1995, no solo para televisión terrestre, sino también de cable y satelital.

Tiene la ventaja de permitir la recepción por dispositivos móviles pero es susceptible a las interferencias de electrodomésticos y tiene poca cobertura.

Características principales:

- Utiliza compresión de video MPEG-2 y audio AC-3
- Admite SFN (Single Frequency Network)
- Plataforma multiservicios, considera las siguientes variables:
  - DVB - S Satélite
  - DVB - T Terrestre
  - DVB - C Cable
  - DVB - MC MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)
  - DVB - SI Servicios de Información
  - DVB - D Datos

### **ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*)**

En 2003, el estándar japonés ISDB se puso en funcionamiento con servicios móviles y fijos que ya aprovechan la experiencia adquirida por sus antecesores.

En resumen, las características de ISDB son las siguientes:

- Transmite un canal de TV móvil para teléfono en el mismo ancho de banda de 6Mhz de TV normal.
- Puede transmitir un canal de HDTV o tres canales de SDTV por cada canal de TV.
- Permite la televisión interactiva y descargar actualizaciones de firmware para el televisor.
- Permite Guías de Programación Electrónicas (EPG).
- Se puede recibir la señal con una simple antena sobre el televisor, sin la necesidad de instalar una antena externa.
- No tiene problemas de interferencia con los canales adyacentes.
- No tiene problemas de interferencia por motores, teléfonos celulares o fuentes de poder.
- Permite la recepción de HDTV en dispositivos móviles a una velocidad sobre 100 Km/h.
- Permite la transmisión de televisión para teléfonos móviles incluso cuando estos se desplazan a una velocidad de hasta 400 km/h.

En Latinoamérica, Argentina, en 1998, y México, en 2004, optaron oficialmente por la norma estadounidense para implementar la televisión digital. Por su parte, Brasil continúa un prolongado proceso de estudio que podría culminar, con su propia norma, su participación en el esquema no alineado o la simple adopción de uno de los estándares ya existentes.

Los demás países están a la espera de esas decisiones, dadas las consecuencias en las dimensiones del mercado resultante.

La figura 1.1 muestra la distribución de los estándares de televisión digital a través del mundo.

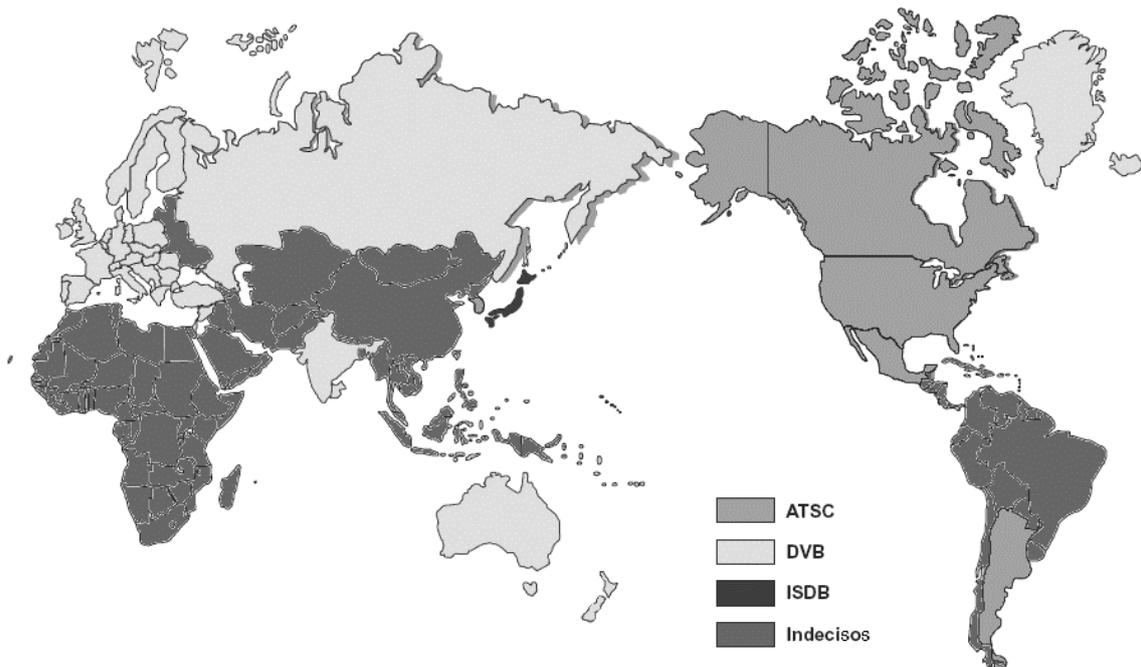


Figura 1.1 Distribución de Estándares de DTV Alrededor del Mundo

### 1.1.3 Ventajas de DTV

La teledifusión digital usa el espectro de radiofrecuencia en una forma mucho más eficiente que la analógica. Es decir, puede difundir de cuatro a cinco señales digitales simultáneas, con calidad de DVD, en la misma porción de espectro que hoy requiere un canal analógico. Y todos ellos pueden ofrecer sonido con calidad de CD, y con sonido envolvente.

La televisión digital permite obtener un sin número de aplicaciones y facilidades adicionales. Estas se enumeran a continuación:

- **Televisión Interactiva, Plataformas Multimedia e Internet**

La televisión digital permite la interactividad del usuario con el sistema. Así, utilizando diferentes medios de vías de retorno, el usuario tiene la posibilidad de acceder a plataformas multimedia de alta velocidad.

El estándar DVB de Europa tiene desarrollada una plataforma multimedia aplicable a los distintos sistemas de Televisión Digital. Esta plataforma denominada MHP (*Main Home Platform*), le permite al abonado interactuar con sistemas multimedia como pueden ser juegos, *banking*, *shopping*, acceso a Internet y otras aplicaciones. Una de las ventajas de esta plataforma es aprovechar la alta velocidad de datos disponible.

El estándar ATSC de EE.UU. ha desarrollado una plataforma interactiva con aplicaciones en un entorno de software. Ésta le permitirá al usuario también interactuar con sistemas multimedia a través de redes de datos de alta velocidad.

- **SFN (Single Frequency Network)**

Los estándares de Televisión Digital Terrestre DVB e ISDB permiten el desarrollo de Redes de Frecuencia Única. Este sistema ha comenzado a utilizarse en algunos países de Europa y consiste en utilizar repetidoras de VHF y UHF que reciben y transmiten en la misma frecuencia.

Este sistema permite un ahorro significativo de canales del espectro. De este modo un país, puede tener todas sus repetidoras recibiendo y transmitiendo en el mismo canal.

- **Servicio Portable y Móvil de Televisión y Datos**

La recepción portable y móvil, sin duda es una de las mayores ventajas de la televisión digital. Este servicio es ideal para aplicaciones de datos de Internet, para sistemas móviles, así como para transmisión de televisión digital estándar en su utilización en servicios de transportes de larga distancia. Este tipo de servicio también permite utilizar una *notebook* o un teléfono celular para acceder a Internet o redes de datos. A su vez, este servicio permite ver programas en receptores de TV instalados en microómnibus y trenes de larga distancia.

- **Cinematografía Digital**

El desarrollo de la televisión digital está produciendo un gran avance en la cinematografía. Durante el rodaje de películas se están utilizando cámaras de televisión digitales de alta definición en 24p (24 cuadros/barrido progresivo). Si bien estas cámaras no reemplazan totalmente a las cámaras filmadoras tradicionales, las imágenes obtenidas son de alta calidad. Además, estas imágenes pueden ser registradas en video grabadoras de HDTV o almacenadas en servidores. Esto implica un ahorro significativo de tiempo y costos, ya que cualquier repetición o duplicación de tomas, al ser grabadas en cinta o almacenadas en servidores, simplifican la operación.

Durante la post-producción, los procesos de edición y compaginación son facilitados al disponer las imágenes de HDTV en soportes magnéticos u ópticos. Además, el hecho de operar en video digital no sólo permite manipular las imágenes, sino también posibilita emplear todo tipo de efectos especiales en 3D y en toda su dimensión.

En Europa se están implementando nuevas salas de proyección de video digital. Para ello, la película en video digital en HDTV es enviada por la productora cinematográfica a un transpondedor satelital. Simultáneamente, todos los cines reciben esa señal y la proyectan en video digital en HDTV. Los proyectores de video empleados son de alta resolución.

Este sistema será el futuro en el cine digital. La principal ventaja de este sistema, reside en que la misma película pueda ser proyectada en múltiples salas a la vez y en distintos países, sin necesidad de efectuar copias y transportar los rollos de celuloide. De esta manera, se evita el desgaste que sufren los rollos de celuloide al exhibirse una y otra vez.

En la actualidad existen en el mundo más de 50 salas preparadas para proyectar películas de video digital en HDTV.

Otra de las alternativas que ofrece el cine digital, es su emisión por Internet, a través de redes de banda ancha. Este tipo de difusión del cine digital, será sin duda una nueva fuente de negocios para las productoras.

## **1.2 Medios de Transmisión de DTV**

En la actualidad existen 4 medios para la transmisión de TV digital que están siendo utilizados de manera comercial: satélite, cable, televisión digital terrestre (TDT) y el cuarto medio que se usa en algunos países es ADSL.

### 1.2.1 DTV Terrestre

La televisión digital Terrestre (TDT) constituye la evolución de la actual televisión convencional. Al tratarse de una transmisión digital, se pueden aplicar procesos de compresión y corrección de errores, lo que, por ejemplo, nos permitiría ver un mayor número de canales, además de una mayor calidad tanto de imagen como de sonido. Facilitando también la transmisión de servicios interactivos.

En la figura 1.2 se muestra el esquema de recepción de la TDT, ya sea mediante un televisor analógico convencional o empleando un televisor digital integrado.

#### Requerimientos de Transmisión

La televisión digital terrestre se recibe en los hogares a través de las antenas convencionales, para lo cual puede resultar necesaria una pequeña adaptación de esas instalaciones de recepción (antenas colectivas o individuales). Sin embargo, para poder ver los contenidos de televisión digital y acceder a los servicios adicionales es necesario además disponer de un receptor de TDT, bien externo, decodificador o STB (*Set Top Box*), o interno (televisor integrado o TVDI). La tecnología usada es ATSC en Norteamérica, ISDB -T en Japón, y DVB-T en Europa y Australia.

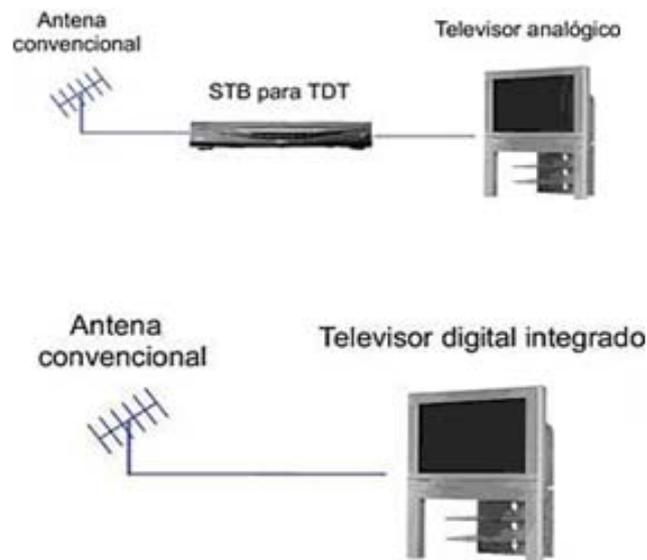


Figura 1.2 Esquema de Recepción de TDT

### 1.2.2 DTV por Cable

El cable surge por la necesidad de cubrir ciertas áreas pobladas en las que la recepción de TV por ondas hertzianas no era buena. Una de las principales consecuencias era que las cifras de negocio de los vendedores de aparatos de TV se estancaba. Fue así como los vendedores de Astoria (Washington) organizaron una cooperativa sin ánimo de lucro que instaló una gran antena a lo alto de la colina y que distribuía la señal a los hogares mediante una red de cable. Este sistema llamado CATV se popularizó y extendió ampliamente. Posteriormente otras necesidades potenciarían la implantación del cable como la necesidad de más canales, contenidos mejores y más atractivos y mejor calidad de recepción.

En la actualidad, las redes de cable siguen una arquitectura HFC (*Hybrid Fiber/Coax*) y representan una evolución de las clásicas redes CATV en las que buena parte del cable coaxial utilizado para distribuir la señal de televisión ha sido sustituido por fibra óptica. La configuración de una red de cable HFC se compone de una Cabecera de Red, una Red Troncal o de Transporte, una Red de Distribución y el Último Tramo hasta el usuario final.

#### Requerimientos de Transmisión

Una vez que se ha realizado el despliegue de cable en el edificio, el usuario tan sólo necesita un decodificador, que incorpora los elementos más adecuados para recibir los canales de televisión y el resto de servicios ofrecidos por el operador con que haya contratado. La figura 1.3 ilustra la conexión de un sistema de Televisión Digital por Cable.

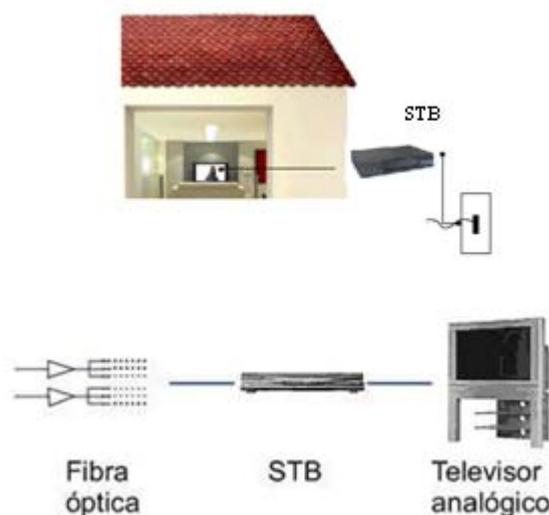


Figura 1.3 Sistema de Televisión Digital Vía Cable

De este modo, mediante dicho decodificador o receptor externo STB que se conecta al televisor analógico, o usando directamente el televisor digital integrado, se podrá visualizar de forma adecuada la señal de Televisión Digital por Cable, cuya entrada la proporciona la conexión de cable instalada en el hogar.

### 1.2.3 DTV por Satélite

Para la recepción de televisión a través de satélite es necesaria una antena parabólica orientada al satélite y un equipo receptor STB tal como se ilustra en la figura 1.4. Este receptor demodula la señal de televisión digital y la decodifica, de manera que pueda ser visualizada de forma adecuada en el televisor. Dependiendo del área geográfica en la que se encuentre variará el tamaño de la antena, y los parámetros de apuntamiento.

En la actualidad, el 99% de la televisión satelital es digital y el estándar más utilizado en el mundo es el DVB-S.



Figura 1.4 Recepción de Televisión Digital Vía Satélite

### Requerimientos de Transmisión

Para recibir de forma individual en el televisor analógico convencional los programas ofertados por la televisión digital vía satélite, resulta necesario disponer de:

- Una antena parabólica fija.
- Un LNB<sup>2</sup> (*Low Noise Block*) Universal ubicado en la antena.
- El cable.
- Un receptor de satélite externo (STB). Éste último puede conectarse tanto a un televisor analógico como a un televisor digital integrado, tal como se muestra en la figura 1.5.



Figura 1.5 Configuración de la Recepción de Televisión Vía Satélite.

#### 1.2.4 DTV por ADSL

Finalmente se encuentra la transmisión de televisión por ADSL. La ventaja del ADSL, frente al cable y al satélite, es que el usuario recibe la señal de televisión a través de su teléfono. Como la mayoría de los hogares disponen de línea, sólo se necesita un módem y un descodificador para disfrutar de las ventajas de la televisión digital, no hay que instalar antenas parabólicas o tender cableados. La calidad de este servicio está determinada por la distancia desde el hogar hasta la central telefónica y el estado del par de cobre que se utiliza para la transmisión. En el siguiente capítulo se detallará más este sistema.

La tabla 1.2 muestra un análisis comparativo de los distintos medios de transmisión.

---

<sup>2</sup> Es la parte de la antena que recibe la señal emitida por los satélites, de manera que el reflector que constituye la parabólica va a realizar una labor de concentración de la señal en el LNB. Adicionalmente se encarga de seleccionar las bandas de frecuencias y tipo de polarización.

Tabla 1.2 Comparación entre Medios de Transmisión de DTV

	<b>Satélite</b>	<b>Cable</b>	<b>TDT</b>	<b>ADSL</b>
<b>Implementación</b>	Fácil / Rápida	Difícil / Costosa	Fácil / Rápida	Fácil / Rápida
<b>Cobertura</b>	Continental	Local	Local	Local
<b>Ancho de Banda</b>	Gran capacidad	Gran capacidad	Limitado	Limitado
<b>Contenidos</b>	No permite información local	Información local	Información local	Información local
<b>Canal de Retorno</b>	Limitado	Limitado	Limitado	Amplio

### 1.3 Triple Play

En Telecomunicaciones, el concepto *Triple Play* se define como la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y *pay per view*). Es el paquete conocido como Teléfono +Internet de Banda Ancha +TV.

El servicio *Triple Play* es el futuro cercano para el desarrollo integral de comunicación entre hogares. El desarrollo actual de los Proveedores de Servicios de Internet (ISP por sus siglas en inglés) conlleva una solución única para varios problemas. El servicio telefónico, televisión interactiva y acceso a Internet, todo en un mismo servicio. Todos los servicios sobre el mismo medio físico posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que el desea utilizar en el momento idóneo. [5]

### 1.3.1 Arquitectura de *Triple Play*

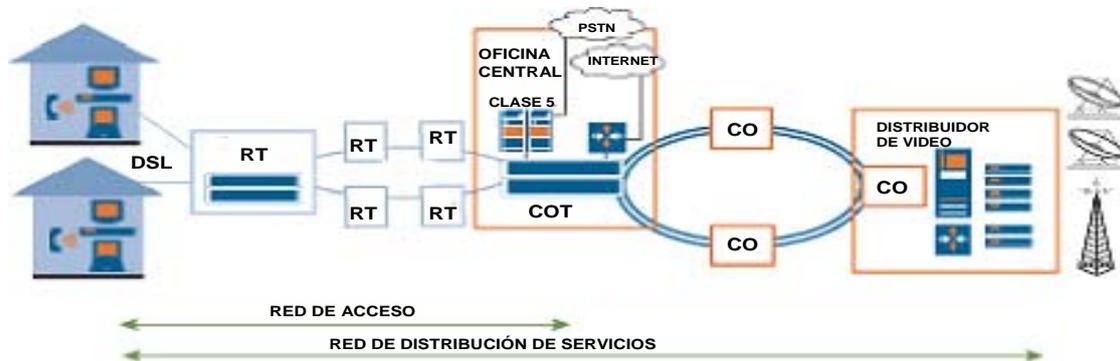


Figura 1.6 Arquitectura de *Triple Play*

En la arquitectura ilustrada en la figura 1.6 un solo sistema lleva los servicios de voz, datos y video a Terminales Remotas (RT) residenciales o de negocios usando estándares telefónicos e interfaces DSL. Las terminales remotas están interconectadas por una red de acceso liberada por la Terminal de Oficina Central (COT). El consumidor conectado directamente por par de cobre a la oficina central (CO) puede recibir directamente todos los servicios de la COT. La COT proporciona el acceso a la Red Pública Telefónica (PSTN) vía un switch tradicional clase 5 o un softswitch (usando VoIP con señalización softswitch), que proporciona acceso a Internet vía router y provee servicios de video vía interconexión con el servidor.

La conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios. El servicio telefónico, se basa en la tecnología VoIP. Se transmiten llamadas de voz de manera similar al envío de datos electrónicos (Internet), convirtiendo la voz en paquetes de datos, que viajan a través de redes multiservicio IP de las operadoras. La Central IP es el elemento que registra los teléfonos conectados a la red multiservicio a través del ADSL. Los teléfonos analógicos se conectan a la línea ADSL a través de un convertidor llamado ATA/IAD. Si la llamada se produce entre teléfonos registrados en el softswitch se establecerá una llamada VoIP entre ambos. El IP Gateway es un elemento esencial, para procesar llamadas externas con teléfonos IP no asociados al softswitch. Su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) para llamadas externas.

La implementación de este tipo de tecnología disminuye la complejidad de las interconexiones. Económicamente, se reducen dramáticamente los costos de construcción, operación y redes de acceso de gran ancho de banda. Todo el tráfico entre las terminales remotas y la oficina central es llevado por paquetes IP a través del acoplamiento de alta velocidad con fibras basadas en enlaces Ethernet.

Recibir estos servicios requiere más ancho de banda que el que se tiene actualmente en la red. El video en particular requiere un gran ancho de banda. Es importante pensar en las necesidades y posibilidades de las redes para poder ofrecer video en un futuro. La televisión evolucionará en un futuro hacia una televisión con total interactividad con el usuario permitiendo una televisión “a la carta”. [6]

### 1.3.2 Ventajas de *Triple Play*

La convergencia de los servicios trae consigo beneficios para el cliente, tales como:

- Mejora de la calidad de servicios, llegando hasta los hogares la calidad digital.
- Creación de nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a Internet.
- Un salto tecnológico que permite compartir eficazmente y sin perturbación los datos de Internet, la voz y el vídeo en la red existente.
- Facturación de servicios en un solo recibo.
- Trato con un solo proveedor.
- Integración de múltiples servicios en un número reducido de dispositivos de comunicaciones.
- Facilidad de integrar nuevos servicios y tecnologías dentro de la misma plataforma de comunicaciones.

La convergencia en las telecomunicaciones enfrenta como competidores a proveedores que hasta hace poco trabajaban en mercados separados. Los operadores de cable, las compañías telefónicas, los operadores de televisión restringida por satélite (DTH), los operadores de tecnologías inalámbricas como MMDS, Wi-Fi y Wi-MAX trabajan todos en evaluar distintas alternativas para ofrecer múltiples servicios a sus clientes. Esto lo pueden hacer por sí solos o en asociación con otros operadores de telecomunicaciones.

### 1.3.3 *Triple Play* en México

México publicó las reglas que permitirán a telefónicas y operadoras de televisión por cable integrar servicios de telefonía, televisión y acceso a Internet mediante una misma conexión, la convergencia tecnológica conocida como *Triple Play*.

La decisión fue publicada por la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) en el Diario Oficial de la Federación y entró en vigor el 4 de octubre del 2006. Las nuevas reglas abren las puertas para que las empresas de cable entren en el mercado de la telefonía, actualmente dominado por Telmex, que controla más del 90 por ciento de las 21 millones de líneas telefónicas fijas del país [7]. Pero también permitirá a las telefónicas comenzar a ofrecer servicios de televisión por suscripción.

Otros sectores, como los de telefonía móvil, transmisiones por radio y comunicaciones satelitales, aún esperan por sus propios acuerdos de *Triple Play*.

Primero está el asunto técnico, es decir, saber si los interesados en ofrecer estos servicios son capaces técnicamente de hacerlo. Hay dos grandes jugadores, las telefónicas y las cableoperadoras. Ambos tipos de compañías deben tener la capacidad técnica y ancho de banda para poder brindar el servicio sin interrupciones y con alto nivel de calidad. Por otro lado, se debe tener la infraestructura para cubrir la demanda del número de usuarios. Hay que equipar centrales y, en muchos casos, tender nuevos cables dependiendo de la zona a cubrir.

Otro asunto importante será el precio en paquete, ya que al incluir todos los servicios, la lógica hace pensar que costarán menos que si se pagan por separado. Aunque aquí el asunto no es técnico, sino comercial. Cuando esto suceda, seguro comenzará una gran batalla de precios, intentando atraer nuevos clientes.

### **Empresas Cableoperadoras en México**

Las redes de televisión por cable en México suman más de 80 mil kilómetros de red y le dan servicio a cerca de 3 millones de suscriptores [6]. La televisión por cable es el servicio de televisión de paga más ampliamente difundido en México. La infraestructura de las redes de televisión por cable cuenta con las características apropiadas para ofrecer a sus suscriptores, además de la televisión por cable, servicios de Internet de banda ancha, de telefonía, de música digital y otros servicios digitales avanzados como video por demanda (VoD), video juegos y televisión digital de alta definición.

En el país operan 598 redes de televisión por cable, las cuales tienen la capacidad de ofrecer servicios de telefonía fija. Esto representa un gran mercado, pues ya tienen registrados 3 millones de usuarios de televisión por cable y 288 mil de Internet, según datos proporcionados por la SCT [8].

Entre los principales proveedores de televisión por cable se encuentran:

- Cablevisión. Operando en el centro del país
- Megacable. Operando en el occidente del país
- Cablemás. Con cobertura nacional
- Cablevisión Monterrey. Operaciones en el norte del país
- Grupo Hevi. Ofreciendo banda ancha y entretenimiento
- TV Internacional. Cobertura Internacional
- Telecable
- MASTV. Con cobertura nacional
- PCTV (Productora y Comercializadora de Televisión). Con cobertura nacional

## Empresas Telefónicas en México

Las empresas de telefonía fija con mayor presencia en México son:

- TELMEX
- Avantel
- AT&T
- AXTEL
- MIDITEL
- Telemedia

De las más de 21 millones de líneas telefónicas existentes, 90% son atendidas por TELMEX, y de ellas la mayoría cuenta con capacidad para la activación de servicios de banda ancha y se caracterizan por pertenecer a una red totalmente digital compuesta por fibra óptica, microondas y acceso inalámbrico.

## Alianzas entre Telefónicas y Cableoperadoras

Nuevas alianzas y compras entre empresas telefónicas y cableras son la nueva tendencia que se utiliza en México para enfrentar la convergencia de servicios en telecomunicaciones.

Las alianzas y compras entre compañías de telecomunicaciones se realizan después de hacer un análisis riguroso sobre el mercado al que se espera llegar. Más allá de ofrecer la tecnología, diversas empresas en México se preparan para lo que llaman el nuevo paradigma arquitectónico, servicios, consultoría e infraestructura, enfocados a *Triple Play*.

*Lucent Technologies* ya tiene programas para mejorar los sistemas de convergencia de las cableras, tienen pláticas con la CANITEC (Cámara Nacional de la Industria de las Telecomunicaciones) para, a través de paquetes, ganar a la competencia el mercado de convergencia en este sector. [9]

Por otra parte Multimedios Redes, división de Grupo Multimedios que ofrece servicios de televisión por cable, Internet de banda ancha y conectividad empresarial, adquirió equipos y soluciones de *Cisco Systems* que le permitirán brindar servicios convergentes de televisión, Internet y telefonía. Estos servicios se proporcionan mediante tres marcas: Cablevisión Monterrey (televisión por cable), InterCable (Internet) y Telum (telefonía) cubriendo el mercado residencial y empresarial. Esta red les permitirá ofrecer a sus clientes aplicaciones de banda ancha confiable y a gran escala, incluyendo, televisión, video en demanda, juegos en línea, monitoreo, video llamadas y servicios interactivos en tiempo real con la mayor rapidez y calidad en el mercado. La empresa cuenta con una infraestructura de Red de más de 5 mil kilómetros con cobertura en el área metropolitana de Monterrey y ciudades aledañas, utilizando redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial. Para atender las necesidades específicas de los clientes empresariales, se inician operaciones enfocándose en ofrecer conectividad empresarial con un anillo IP de fibra óptica de más de 2 mil 800

kilómetros en Monterrey y su área metropolitana, operando con los más altos estándares de calidad lo que permite además proporcionar el servicio a otras empresas. [10]

Maxcom y la operadora de televisión por cable SIT fueron quienes inauguraron en abril del año pasado los servicios *Triple Play* en el país, al firmar un acuerdo comercial para llevar telefonía, televisión e Internet en un solo contrato a los clientes de la marca Telemedia, cuyo servicio se ofrece en la ciudad de Querétaro. No tardó mucho tiempo para que Maxcom firmara otra alianza con Cablenet en Toluca. No obstante, en mayo del año pasado la telefónica Axtel y la empresa Cablemas anunciaron también la firma de un acuerdo para ofrecer en conjunto servicios *Triple Play* en la ciudad de Tijuana. Ambas empresas dijeron que planean llevar su acuerdo a diversas ciudades del país aunque a la fecha se desconoce la apertura de una nueva plaza. [11]

Así mismo la empresa Megacable, una de las dos mayores operadoras de televisión por cable del país, lanzó su servicio de telefonía en Guadalajara bajo el nombre de Megafón, el cual fue resultado de la alianza firmada entre esta cablera y la telefónica de la misma región, Bestel.

De acuerdo con los tiempos establecidos por el Acuerdo de Convergencia, Telmex podría ofrecer sus servicios *Triple Play* hasta mediados de 2007 pues antes se tienen que cumplir varios pasos. La idea que está construyendo Telmex para el servicio de televisión radica en la apertura de una opción para otras ofertas de video, es decir, que puedan coexistir, una cantidad muy variable de contenidos, igual que sucede con Internet. El modelo de Teléfonos de México para ofrecer sus servicios *Triple Play* a sus usuarios se basa en la estrategia de convertirse en una red con una amplia capacidad tecnológica disponible para todos los contenidos de televisión que quieran usarla, por lo que sería un simple transporte de las señales. [12]

Muchas empresas cuentan con la tecnología e infraestructura para dar *Triple Play*. Esta nueva era permitirá generar buenos negocios e incremento en desarrollos tecnológicos. Además, se iniciará una nueva era donde las compañías ya no sólo serán los proveedores de las herramientas, sino evolucionarán a prestar servicios y consultoría.

La CANITEC asegura que con la alianza entre telefónicas y cableras los usuarios pueden obtener descuentos de entre 25 y 30 por ciento; sin embargo, afirma que la reducción del precio sería de hasta 40 por ciento, si las cableras pudieran ofrecer directamente el servicio.

Otro avance se registra en la red eléctrica y de fibra óptica de la Comisión Federal de Electricidad. Los proyectos *Power Line Communications* de la paraestatal permiten prever el uso de la red eléctrica por los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones para brindar estos servicios a sus usuarios, con lo que también estarían en posibilidades de entrar en la competencia.

#### 1.4 IPTV (*Internet Protocol Television*)

IPTV (*Internet Protocol Television*) es el resultado de la convergencia de Internet y Televisión, solución que posibilita nuevas opciones de entretenimiento y servicios para los usuarios y la generación de mayores ingresos para los operadores que brinden este servicio.

Este protocolo describe los servicios a través de los cuales podemos recibir la señal de televisión o video a través de la conexión de banda ancha a Internet. De manera más sencilla se puede decir que IPTV es la televisión cuyo contenido se recibe por medio de las tecnologías web en vez de los formatos tradicionales: antenas, cable, etc.

Existen diferencias entre IPTV y Televisión por Internet. La primera se trata de un perfil cerrado mientras que la segunda es una estructura abierta y disponible. La primera esta regida por el control y calidad, esta basada en la distribución de paquetes de Internet que permiten un alto grado de control y seguridad, mientras que la segunda está dominada por la cantidad y variedad de producciones [13].

IPTV está íntimamente ligada al desarrollo del ancho de banda de las comunicaciones. La televisión al tratarse de imágenes en tiempo real, necesita de un gran ancho de banda para su correcto funcionamiento, pues las imágenes han de llegar sin retraso al usuario. IPTV se muestra de esta forma como el resultado del gran auge de las conexiones a Internet y la evolución tecnológica que ha permitido ofrecer ancho de banda cada vez mayor a los usuarios a un menor precio. Así esta solución posibilita nuevas opciones de entretenimiento y servicios para los usuarios, y la generación de mayores ingresos para los operadores que brinden este servicio aprovechando las infraestructuras existentes.

Es por este aprovechamiento máximo de las infraestructuras existentes que el servicio que ofrecen los operadores suele ser triple. Este servicio aglutina en una sola oferta el acceso a Internet, llamadas telefónicas y la IPTV.

A diferencia de la televisión digital convencional, ya sea ésta terrestre o por satélite, el proveedor no emitirá sus contenidos y esperará a que el usuario se conecte, sino que los contenidos llegarán solo cuando el usuario los solicite. La clave está en la personalización del contenido para cada cliente de forma individual. Esto permitirá el desarrollo del llamado *pay per view* o video bajo demanda. El usuario podrá seleccionar los contenidos que desee ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee.

Las ventajas que esta nueva tecnología ofrece pueden ser enormes; especialmente si se tiene en cuenta que es capaz de reunir todas las características de cada uno de los servicios que integra.

Entre los posibles servicios de IPTV se encuentran:

- Canales de televisión digital y música ilimitados
- Programación de Paga (*Pay per view*)
- Verdadero Video sobre Demanda (VoD)
- VoD por Suscripción (SVoD)
- Pago de cuentas/impuestos
- Compra de Productos
- PVR *Personal Video Recording*
- *Caller ID* en pantalla
- e - mail
- Internet, Juegos
- Servicios de Información
- Publicidad Interactiva
- *e - Learning*

La implementación de IPTV permite a las empresas de servicio conocer los gustos y hábitos de sus clientes, generando la posibilidad de nuevos ingresos.

En el corto o mediano plazo ante la baja de los precios de banda ancha esta modalidad deberá ser adoptada por los diferentes operadores para mejorar sus ingresos y complementar sus actuales ofertas de transmisión de voz y datos.

## 2. Arquitectura de IPTV

IPTV abarca ampliamente una gran funcionalidad que va desde la adquisición, codificación y decodificación, control de acceso y administración de los contenidos, hasta la entrega de televisión digital, películas sobre demanda, y guías de programación a los subscriptores del sistema.

Este capítulo provee una descripción general de la arquitectura del sistema IPTV e identifica algunos servicios y aplicaciones suministradas por éste, así como las ventajas que presenta y las implementaciones que se han dado en la actualidad alrededor del mundo.

### 2.1 Estructura del Sistema

Ante la tendencia actual de integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red y de solucionar los problemas que involucran capacidad, calidad de servicio, seguridad, etc., han aparecido multitud de equipos, técnicas, tecnologías y protocolos, que combinados de una manera adecuada pueden permitir modelos de red que proporcionen todo tipo de servicios multimedia. Estos modelos son llamados *Next Generation Network* o Redes de Siguiete Generación (NGN). Durante los últimos años, las tecnologías NGN han sido promocionadas extensamente como la opción adecuada para las redes de telecomunicaciones del futuro.

La idea general de las NGN es que toda la información sea transmitida a través de paquetes, como Internet, a través de una red de transporte y conmutación a alta velocidad. Los paquetes son etiquetados de acuerdo a su tipo (datos, voz etc.) y administrados con diferentes niveles de Calidad de Servicio (QoS).

Los servicios que ofrecen las NGN no son sólo para otorgar voz, datos y vídeo sino también televisión y Video Sobre Demanda (VoD). Por lo que la Arquitectura del Sistema IPTV se basa en el concepto de las redes NGN. [14]

Existen diversas arquitecturas para la transmisión de servicios de video sobre diferentes tipos de redes de telecomunicaciones, pero genéricamente cualquier red de distribución basada en IP requiere incorporar los siguientes módulos:

- Adquisición de señales de video
- Almacenamiento y servidores de video
- Distribución del contenido
- Equipo de acceso y de subscriber
- Software de Servicio

La figura 2.1 muestra los módulos necesarios para la implementación del sistema IPTV. Este sistema requiere una etapa en la que se recopila el contenido para integrar la oferta programática, servidores para almacenamiento de video, la distribución de las señales a través de la red de transporte de alta capacidad y, por último, el equipo encargado de entregar el contenido al subscriber.

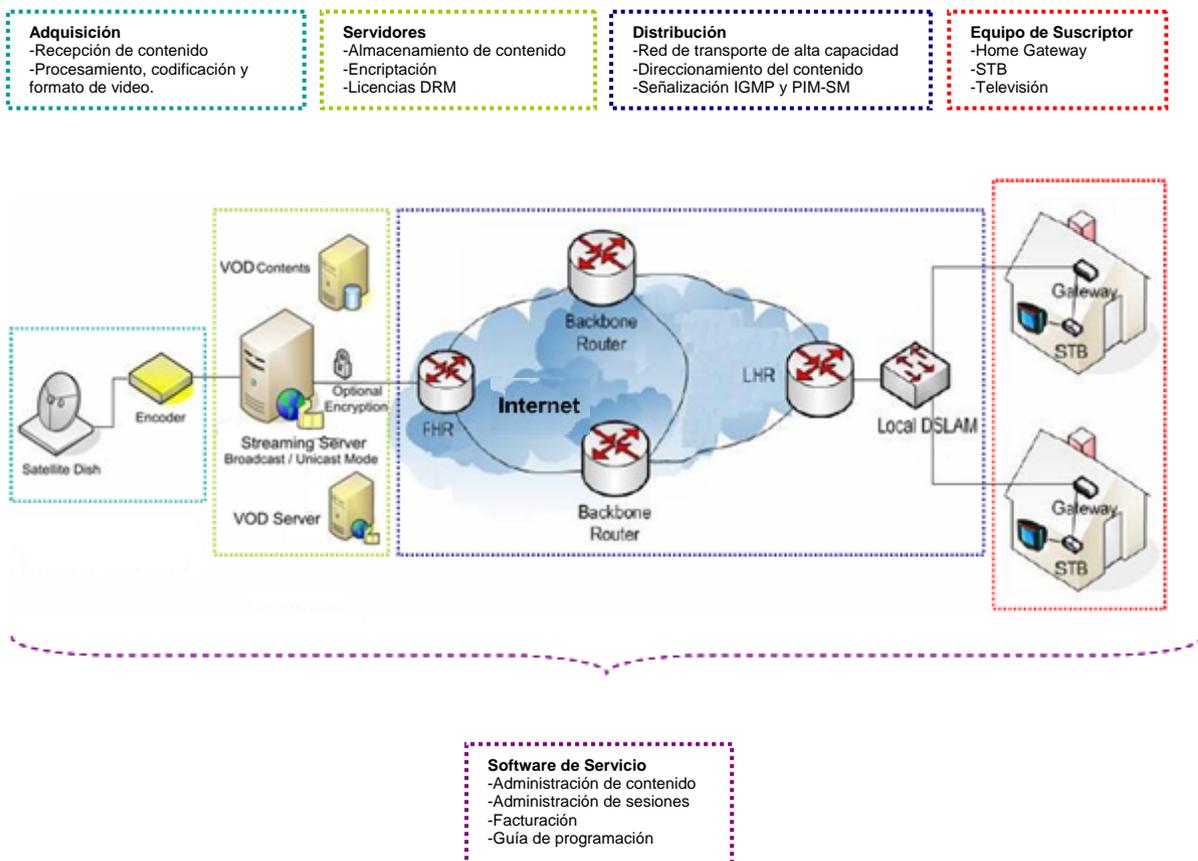


Figura 2.1 Módulos de la Estructura del Sistema IPTV [15]

### 2.1.1 Adquisición de Señales de Video

La etapa de adquisición se localiza en la cabecera del sistema, o también llamada *headend* la cual a su vez está compuesta por distintos módulos para realizar diversas funciones. Este es el punto de la red en el que los canales de televisión y películas son recolectados y formateados para su distribución sobre la red IP.

#### Recepción de Contenido

Tal y como sucede con los sistemas de televisión digital vía cable o satélite, en la cabecera de vídeo es donde se capturan los contenidos televisivos. El contenido se puede recibir vía satélite, Internet, de algún proveedor de contenidos o de un distribuidor de señales de televisión digital y/o analógica.

#### Procesamiento, Codificación y Formato de Video

Para digitalizar, codificar y comprimir el video analógico, o procesar y convertir el video digital al formato empleado por el sistema, se requieren codificadores que además permiten que el flujo de video pueda ser transportado por IP y recibido por el equipo del suscriptor. El codificador, comúnmente es un dispositivo o módulo de software que habilita la compresión de video digital, típicamente sin pérdidas. La elección del codificador de video es de suma importancia porque determina el complejo balance entre la calidad del video, la cantidad de datos necesaria para representarla (tasa de bits), la complejidad de los algoritmos de codificación y decodificación, la robustez ante las pérdidas de datos y los errores, la facilidad de edición, el acceso aleatorio, el tipo de algoritmo de compresión, el retraso por transmisión y otro número de factores. Durante el proceso de codificación, una gran cantidad de información tiene que ser insertada a los flujos digitales de salida para facilitar la decodificación en el equipo del usuario.

Dentro de los formatos de compresión de video empleados para IPTV se encuentran los siguientes:

- H.261. Fue el primer estándar de compresión de video digital, especialmente desarrollado para los primeros productos videoconferencia y videotelefonía. Fue la base para los formatos subsecuentes.
- MPEG-1. (*Moving Pictures Expert Group*) Establecido en 1991, se diseñó para introducir video en un CD-ROM. Por aquel entonces eran lentos, por lo que la velocidad de transferencia quedaba limitada a 1.5 Mbps y la resolución a 352 x 240 píxeles. Es capaz de aportar mayor calidad si se le proporciona mayor velocidad. Ofrecen tres ventajas fundamentales: un gran nivel de compresión, escasa pérdida de calidad, y permite la compatibilidad con carácter retroactivo entre diferentes formatos de vídeo.

- MPEG-2. Establecido en 1994 para ofrecer mayor calidad con mayor ancho de banda (entre 3 y 10 Mbps). En esa banda, proporciona 720 x 486 píxeles de resolución, es decir, calidad TV. Ofrece compatibilidad con MPEG-1. Es el usado en los DVD y permite imagen a pantalla completa con buena calidad. Es un sistema de compresión de video diseñado para su uso en la transmisión de video y audio digital con relaciones de compresión muy altas. Tiene una gran importancia en el sector ya que se utiliza en prácticamente todas las transmisiones DTV del mundo SDTV y HDTV, así como para DVD y muchas otras aplicaciones en las que se utilizan relaciones de compresión de video altas.
- H.263. Proporciona mejor calidad de imagen que los algoritmos de compresión de vídeo H.261, MPEG-1 y MPEG-2.
- MPEG-4. Calidad mejorada respecto a MPEG-2. Es un formato desarrollado por MPEG que se utiliza en muchos sectores; aunque su importancia en la producción televisiva esta relacionada principalmente con su esquema de compresión de video. La codificación es más compleja que la del formato MPEG-2 pero permite reducir los datos hasta un 30% más; o incluso porcentajes mayores. Este sistema permite enviar una calidad de imagen mejor a los usuarios, o transmitir más canales en un ancho de banda limitado.
- H.264. Es habitual denominar a este estándar como H.264/AVC (*Advanced Video Coding*) o AVC/H.264 o H.264/MPEG-4 AVC o MPEG-4/H.264 AVC. Requiere tasas de transmisión substancialmente menores que los estándares previos y es ideal para transmisiones de HDTV por los bajos niveles de compresión que maneja.
- WMV. (*Windows Media Video*) Se utiliza tanto para video de poca calidad a través de Internet con conexiones lentas, como para video de alta definición. Puede considerarse una mejora del MPEG-4. Es un sistema de compresión de video desarrollado por Microsoft. Es similar a MPEG-4 y tiene un rendimiento equivalente o ligeramente mayor, permite conseguir tasas de datos más bajas y el sistema de procesamiento resulta menos complejo.

Cada una de estas técnicas es útil pero debe aplicarse con precaución cuando se utiliza en la cadena de producción. La utilización de varios ciclos de compresión (compresión / descompresión) durante el proceso, puede causar errores de acumulación de compresión. También hay que tener en cuenta que los esquemas de compresión están diseñados en base a la percepción visual y pueden no ser apropiados para la producción, posproducción y edición. Estos tienen una especial importancia en procesos, como la generación de claves y corrección de color, que utiliza una fidelidad de imagen superior a la que podemos percibir, de manera que los resultados pueden resultar incorrectos si se utiliza material comprimido, aunque no se perciba ninguna diferencia al visualizar el material original.

### 2.1.2 Almacenamiento y Servidores de Video

Los servidores realizan diversas funciones, entre ellas el almacenamiento y respaldo de contenido, la administración de licencias DRM (*Digital Rights Management*) y la encriptación de contenidos.

#### Almacenamiento de Contenido

Esta etapa está totalmente basada en plataformas de servidores IP con sistemas operativos tipo Linux y Windows, capaces de entregar múltiples flujos de video de manera simultánea. El video bajo demanda se puede almacenar en servidores de borde locales para ofrecer contenido a una porción específica de la red.

Estos servidores también son usados para soportar servicios de *Triple Play* dentro de este ambiente de red. Generalmente incluyen servicios de facturación, administración de las aplicaciones de los consumidores, etc.

#### Encriptación de Contenido

Para servicios básicos de televisión los contenidos se pueden proporcionar sin encriptación que los resguarde, ya que este método de protección representa un nivel mayor de complejidad y de costo para los proveedores de servicio IPTV. Sin embargo, cuando se utiliza la encriptación para un servicio Premium, por ejemplo, se necesita de un servidor que condiciona el acceso al sistema, el cual distribuye ciertas claves requeridas por los subscriptores. El equipo subscriptor utiliza una serie de llaves necesarias para desencriptar el contenido para que de esta manera se pueda decodificar.

Este servidor se llama CAS (*Conditional Access System*), y es el responsable de la administración y distribución de las claves asociadas a la encriptación del contenido.

#### Servidor de Licencias DRM

Se trata de un servidor de licencias que administra los permisos para desbloquear contenido, autorizar y reportar transacciones y remitir el video a los usuarios autorizados. DRM, por ejemplo, puede permitir que los usuarios vean una película una vez, un número determinado de veces, sin ninguna limitación durante un cierto periodo, o bien, de por vida.

El servidor DRM codifica el contenido y lo encapsula en un contenedor para evitar su uso no autorizado. También proporciona información de facturación para pagos por derecho de autor, ya que los consumidores pueden comprar el derecho de crear una o más copias.

### 2.1.3 Distribución del Contenido

Para la distribución del contenido, IPTV utiliza una red de transporte de alta capacidad que permite la transmisión bidireccional del contenido, control de sesiones, autenticación de suscriptores y generación de datos de facturación. Independientemente de la arquitectura de la red, es necesario que cuente con alta capacidad de transferencia de información para soportar las tasas de transmisión estables y ofrecer calidad de servicio a los suscriptores. Esta red de distribución se divide en dos redes fundamentales, la red principal o también llamada *Core Network* y la red de acceso o *Access Network*.

#### Red Principal

IPTV utiliza la técnica multicast para la entrega de servicios multimedia sobre la red principal. Todos los flujos multicast de video provenientes de los servidores llegan a la red principal, específicamente al *First Hop Router (FHR)*. De ahí los paquetes multicast pasan por diversos ruteadores que cuentan con la habilidad de distribución, capacidad y calidad de servicio. El *Last Hop Router (LHR)* es el último ruteador multicast de la red principal.

#### FHR (*First Hop Router*)

El FHR es el ruteador multicast más cercano a los servidores de video del sistema IPTV dentro de la red principal. El FHR, también llamado ruteador de distribución, es un ruteador que entrega todo el tráfico multimedia a la red principal, incluyendo todos los canales de televisión a los que los suscriptores están inscritos. Un apropiado diseño de red asegura que los enlaces conectados al FHR sean capaces de soportar el tráfico correspondiente al número de canales requeridos.

#### LHR (*Last Hop Router*)

Todos los flujos multicasts provenientes del *headend* son transferidos a través de varios ruteadores multicast en la red principal hacia el LHR. El LHR es el último de los ruteadores multicast en el que llega el flujo de video. También llamado ruteador de agregación, el LHR tiene también la función de conectar la red de acceso con la red principal y al mismo tiempo procesar las solicitudes para adquirir o dejar un canal que le hacen desde la red del suscriptor.

La figura 2.2 muestra las direcciones de flujo multicast a través de los ruteadores FHR y el LHR.

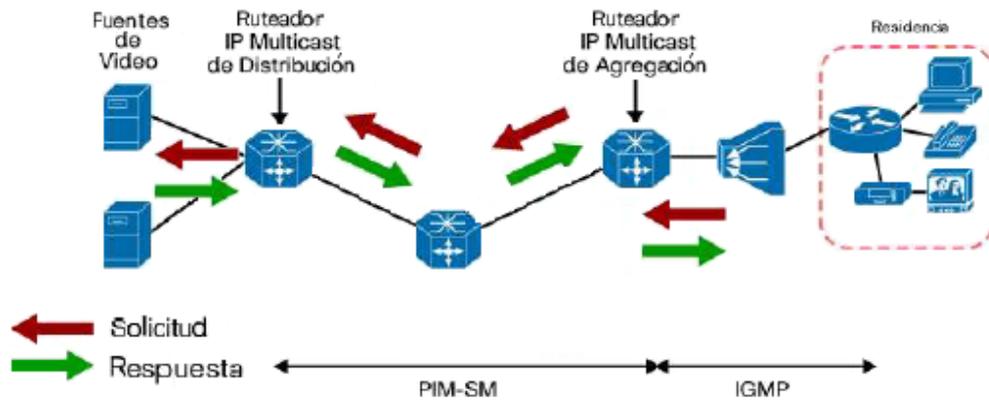


Figura 2.2 Flujo Multicast

### Configuración de la Red Principal

La configuración de la red puede afectar en que tan rápido se transmitan los paquetes multicast correspondientes a los canales de televisión o de video, así como las solicitudes de estos. Diferentes configuraciones representan diferentes componentes contribuyendo al transporte del tráfico multicast hacia el equipo del suscriptor. Entre menos saltos haga el flujo multicast, menor será el tiempo para adquirir o dejar el canal o película.

A diferencia de los sistemas tradicionales de transmisión de televisión (cable, satélite), en IPTV no se tiene la capacidad para transmitir todos los canales a la vez debido a la carencia de ancho de banda; por lo que sólo se transmiten algunos. Por ejemplo para un formato WMV, se necesitan de 1 a 1.5 Mbps<sup>1</sup> para SDTV, el cual no es problema; 10 canales se podrían enviar a la vez con ancho de banda de sobra para otras aplicaciones como voz y datos. Pero cuando se usa HDTV, las cosas cambian, y la capacidad de la red se consume rápidamente, se requieren de 7 a 8 Mbps para un canal HDTV usando WMV. Cada canal de IPTV es enviado sólo una vez desde la cabecera del sistema a la red principal, independientemente del número de receptores potenciales de televisión que haya. Esta distribución hacia todos los suscriptores es lograda con implementaciones de protocolos multicast tanto en la red principal como en la red de acceso.

Existen 2 propuestas de configuración para las cuales los canales de televisión deben ser introducidos. La primera a través del FHR y la segunda por medio del LHR.

<sup>1</sup> A menudo se confunde ancho de banda con velocidad de transmisión y son dos conceptos relacionados pero independientes, hay que reconocer que en comunicaciones digitales se suelen entremezclar, pero hay que saber diferenciar una cosa de otra. La velocidad de transmisión es proporcional al ancho de banda disponible, esta proporcionalidad depende del método de modulación empleado.

En la primera, todo el tráfico multicast es inyectado en el FHR. Únicamente aquí, todos los canales están disponibles. En este caso, solo cuando se requiere de un canal por parte de un usuario del sistema, el FHR manda el tráfico correspondiente a ese canal. Esta implementación también se le conoce como PIM-SM (*Protocol Independent Multicast-Sparse Mode*), y preserva el ancho de banda dentro de la red misma, por lo tanto, solo cuando haya la necesidad de transmitir un canal, éste tomará una cierta cantidad del ancho de banda en la red principal. Sin embargo, la desventaja de esta configuración es que, cuando se realiza una solicitud de canal, ésta tiene que viajar hasta el FHR, lo que hace más lento el tiempo de respuesta para el equipo del usuario.

Una alternativa es tener el tráfico multicast disponible en el LHR, de esta manera se tendrá más cerca del usuario. Esto se logra estableciendo una troncal con todo el flujo multicast enlazados desde el FHR hasta el LHR, configuración también conocida como PIM-DM (*Protocol Independent Multicast - Dense Mode*). El beneficio de esta configuración es que se obtienen tiempos de respuesta más cortos que en el método anterior, no obstante se desperdicia ancho de banda por aquellos canales que ningún usuario esté viendo.

Las figuras 2.3 y 2.4 muestran de forma gráfica estos dos métodos.

En resumen, los operadores del sistema IPTV deben considerar el balanceo entre tiempos de respuesta cortos y un uso más eficiente del ancho de banda de la red cuando se elija entre estos dos métodos.

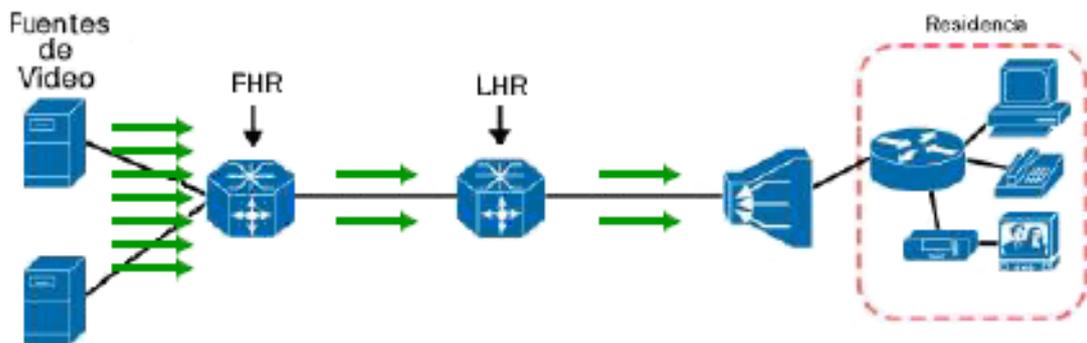


Figura 2.3 Configuración PIM-SM

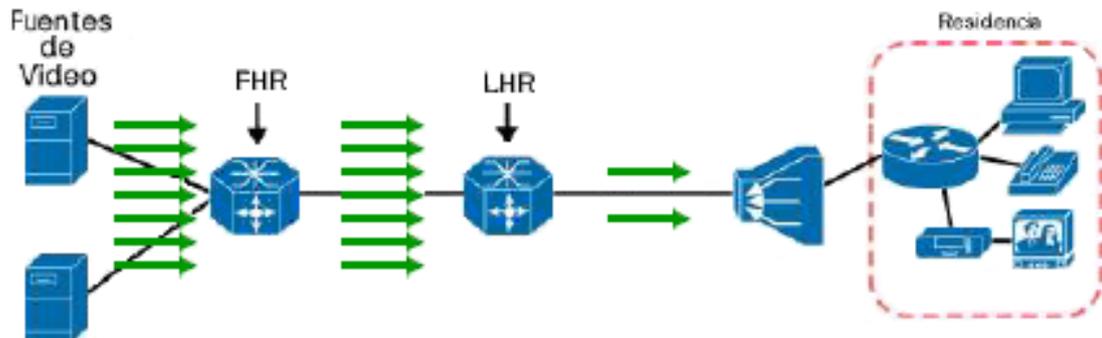


Figura 2.4 Configuración PIM-DM

### Transmisión Multicast

Las comunicaciones tradicionales basadas en el protocolo IP permiten que un host<sup>2</sup> pueda enviar paquetes a otro host (transmisiones unicast) o a varios hosts a la vez (transmisiones broadcast). Las transmisiones multicast proveen otra forma de comunicación: permitiendo que un host pueda enviar paquetes a no todos los hosts que se encuentran en la red sino solamente a un grupo de ellos.

El ruteo Multicast es una tecnología que conserva ancho de banda y que está diseñada propiamente para reducir tráfico en la red al entregar simultáneamente un flujo simple de información a una gran cantidad de receptores. Al colocar copias del flujo de información para todos los receptores, el ruteo multicast es capaz de minimizar la carga tanto en el envío como en la recepción de la información, reduciendo de esta manera el tráfico total de la red. Dentro de una red multicast, los ruteadores son los responsables de remitir y distribuir el contenido multicast hacia todos los hosts que se encuentran dentro de un grupo multicast. (Figura 2.5).

En el caso de aplicaciones de gran consumo de ancho de banda, como la transmisión de video y canales de televisión, el ruteo multicast es la única opción viable de transmisión.

<sup>2</sup> Entiéndase por host como cualquier dispositivo conectado a una red de datos.

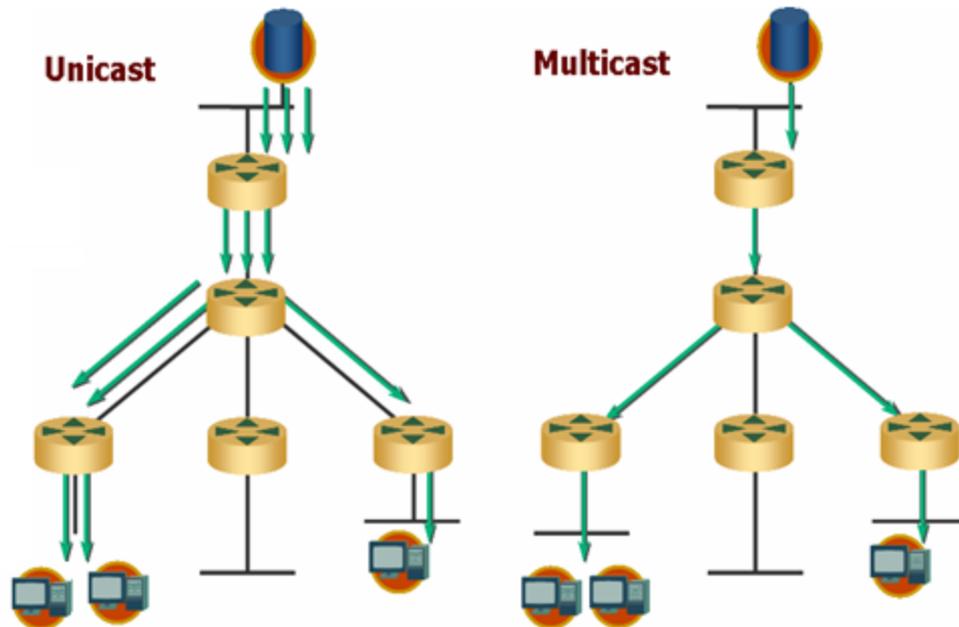


Figura 2.5 Transmisión Unicast y Transmisión Multicast

El ruteo Multicast es soportado por:

- Redes que utilizan protocolos IP versión 4 y 6
- MPLS VPN's (Multiprotocol Label Switching)
- Redes Móviles e Inalámbricas

### Grupos Multicast

El ruteo multicast está basado en el concepto de grupos. Un grupo de hosts o receptores es aquel que recibe un flujo particular desde una fuente de información. Los host interesados en obtener dicha información deben unirse a ese grupo si quieren recibir ese mismo flujo, por lo que deben ser miembros del grupo. (Figura 2.6)

Un canal multicast se refiere a la combinación de la dirección IP de la fuente y la dirección IP del grupo multicast hacia donde es enviado el contenido. Las direcciones Multicast definen un grupo de hosts que se han unido al grupo y que desean recibir el tráfico que le es enviado a éste.

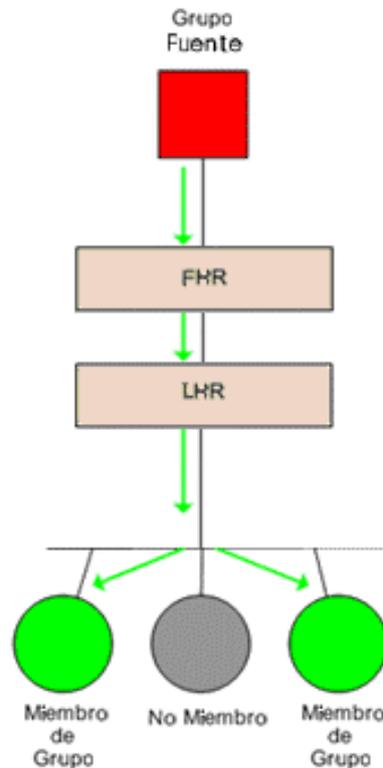


Figura 2.6 Miembros y no Miembros de Grupo

Las direcciones de grupos multicast caen dentro del espacio de las direcciones IP Clase D. Esto quiere decir que todos los grupos multicast tendrán una dirección dentro del rango de 224.0.0.0 a 239.255.255.255. (Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Distribución de Direcciones IP [16]

Clase	Primeros bits	Comienzo	Terminación	# bytes asignados para el número de redes	# bytes asignados para el número de hosts	# de redes	# de hosts
A	0	0.0.0.0	127.255.255.255	1	3	$2^7 - 2$	$2^{24} - 2$
B	10	128.0.0.0	191.255.255.255	2	2	$2^{14} - 2$	$2^{16} - 2$
C	110	192.0.0.0	223.255.255.255	3	1	$2^{21} - 2$	$2^8 - 2$
D multicast	1110	224.0.0.0	239.255.255.255				
E reservada (experimental)	1111	240.0.0.0	255.255.255.255				

El rango de direcciones entre 224.0.0.0 y 224.0.0.255, esta reservado para el uso de protocolos de ruteo, descubrimiento o mantenimiento y para reportes de membresía de grupos. Por ejemplo, 224.0.0.1 es una dirección que representa a todos los sistemas de la red y 224.0.0.2 es una dirección que representa a todos los ruteadores de la red.

El rango de direcciones entre 224.0.1.0 y 238.255.255.255 se refiere a direcciones de propósito general, y el rango de direcciones entre 239.0.0.0 y 239.255.255.255 es usado para propósitos administrativos y son reservadas a su uso local.

Se necesitan dos protocolos para la transmisión multicast. Los ruteadores multicast y el receptor ocupan IGMP (*Internet Group Management Protocol*) para solicitar la incorporación o cambio de un grupo multicast a otro. Y el PIM-SM es utilizado para construir la mejor ruta de transmisión multicast y el empleado por IPTV en vez del PIM-DM.

### **PIM-SM (*Protocol Independent Multicast-Sparse Mode*)**

*PIM* adquiere su nombre por el hecho de ser “Independiente de Protocolo”, es decir, puede utilizar la información de rutas de cualquier protocolo de enrutamiento tales como OSPF o RIP para realizar su función de transmisión multicast. PIM no envía ni recibe actualizaciones del ruteo multicast como otros protocolos de ruteo tradicionales sí lo hacen.

Los ruteadores emplean PIM para construir trayectorias óptimas para la distribución de los paquetes multicast, resultando la forma más eficiente de entregar la información a múltiples receptores.

Como es mostrado en la figura 2.3, PIM-SM utiliza un modelo de esparcimiento para el ahorro de ancho de banda, es decir sólo la información que ha solicitado cierto grupo de hosts será remitida desde la fuente, y no todo el tráfico correspondiente a cada grupo multicast.

Cuando el tráfico empieza a fluir a través de la red, los ruteadores multicast, a lo largo del recorrido, determinan si hay un mejor camino hacia el destino. Si existen mejores trayectorias, el ruteador más cercano al receptor enviará un mensaje de adquisición (*join*) a través de la mejor ruta que se haya establecido.

Toda la información de las fuentes puede ser introducida hacia un ruteador principal, el cual se encargará de esparcir la información solicitada por los miembros de los grupos multicast.

Se puede escalar PIM-SM hacia una red de cualquier tamaño, por ejemplo en redes WAN. PIM-SM es formalmente descrito en el IETF RFC 2362 [17].

## **IGMP (*Internet Group Management Protocol*)**

IGMP es un protocolo empleado para intercambiar información entre hosts y sus ruteadores vecinos acerca del estado de pertenencia de los miembros de grupos multicast. IGMP es formalmente descrito en el IETF RFC 2236 [18].

Tal y como ICMP es una parte integral de IP, los mensajes IGMP se encapsulan en los paquetes IP. Es necesario que IGMP sea implementado en todos los hosts que deseen recibir paquetes multicast.

Existen 3 tipos de mensajes IGMP. *Membership Query Message* es usado por los distintos ruteadores multicast para conocer que miembros o hosts de una red se encuentran unidos a un grupo en particular. *Membership Report Message* es empleado para reportar la pertenencia de los hosts a los distintos grupos multicast. Y *Join - Leave Group Message* es usado por los hosts para indicar a los ruteadores la adquisición o abandono de un grupo.

## **Uso de PIM-SM e IGMP en IPTV**

Para la unión a un grupo correspondiente a un flujo multicast, por ejemplo un canal de televisión, el STB usa el protocolo IGMP para la adquisición y abandono del grupo. El *Home Gateway* también utiliza IGMP, actuando como si fuera él mismo un host. El *Home Gateway* envía mensajes de adquisición y abandono de grupo al siguiente ruteador, el LHR, y a su vez responde a los *Membership Query Messages*, que éste le solicita para verificar su estado, con los *Membership Report Messages*. EL LHR debe soportar tanto el IGMP para comunicarse con el *Home Gateway* como el PIM-SM para comunicarse con el FHR. El LHR recibe los mensajes IGMP de adquisición y abandono del *Home Gateway* y a su vez le envía *Membership Query Messages* para verificar su estado de pertenencia. LHR también envía mensajes PIM-SM al FHR para notificarle que el estado de pertenencia de los miembros de grupos multicast ha cambiado, logrando de esta manera que el flujo multicast correspondiente a un canal se detenga o se retransmita un nuevo flujo.

Como se visualiza en la figura 2.2, los elementos en la red principal utilizan PIM-SM y los elementos en la red de acceso utilizan IGMP.

## **Red de Acceso**

El LHR es el primer ruteador multicast que se conecta a la red de acceso mediante el DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) que a su vez se enlaza con el *Home Gateway* que reside en el área del suscriptor llamada *Home Network*. La red de acceso es el vínculo entre la red principal y la red del suscriptor. Estas redes usan variantes de ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber*

*Line*) y VDSL (*Very High Speed Digital Subscriber Line*) con el fin de proveer el ancho de banda requerido para poder suministrar los servicios de IPTV al equipo suscriptor. Incluso se está empezando a usar tecnología de fibra óptica conocida como PON (*Passive Optical Network*) y FTTH (*Fiber to the Home*).

El dispositivo DSLAM reside en la oficina central del operador de telecomunicaciones, sirve para entregar el contenido suministrado por la red principal hacia múltiples suscriptores sobre líneas DSL<sup>3</sup>. Este DSLAM puede o no soportar el protocolo IGMP, de ser así, tiene la habilidad de copiar un tráfico multicast automáticamente y enviarlo a un nuevo usuario recién unido al grupo multicast; también puede finalizar el flujo multicast cuando ya no haya hosts pertenecientes al grupo. Un DSLAM que no soporte IGMP, tendrá que recibir un flujo de un mismo canal por cada usuario que lo solicite; lo que ocasionaría congestión tanto en la red como en el DSLAM.

### **Tecnologías de Acceso**

Las tecnologías de acceso son todas aquellas tecnologías de banda ancha capaces de transmitir la información a grandes tasas de velocidad y con calidad eficiente del contenido. La figura 2.7 muestra qué tipos de servicios se pueden implementar al incrementar el ancho de banda de la red de acceso. Se puede observar que entre más capacidad tenga la tecnología de banda ancha empleada más canales de televisión digital se podrá transmitir mediante el sistema IPTV.

El ancho de banda total consumido por los canales de televisión es igual a la suma del ancho de banda individual que se consume por cada canal [19]; por ejemplo el estándar de compresión MPEG-2 gasta aproximadamente 3.75 Mbps para SDTV, si se quisieran mandar 10 canales de televisión bajo esas circunstancias, se consumirían aproximadamente 37.5 Mbps de capacidad total. Una tecnología con capacidad de 60 Mbps bien pudiera soportar varios canales HDTV que varían entre los 6 y 15 Mbps, dependiendo del rango de codificación y el estándar de compresión.

Las tecnologías de banda ancha se pueden agrupar en dos categorías: alámbricas e inalámbricas. Las alámbricas simplemente utilizan una conexión física para la transmisión. Las técnicas inalámbricas emplean ondas de radio o microondas.

Existen diversas formas de estas tecnologías, a continuación se describen algunas de las utilizadas por la arquitectura de IPTV.

---

<sup>3</sup> *Digital Subscriber Line* es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local: *Symmetric Digital Subscriber Line (SDSL)*, *High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL)*, etc.

## ANCHO DE BANDA Y SERVICIOS



Figura 2.7 Ancho de Banda y Servicios [20]

### Tecnologías Alámbricas

Las técnicas más comunes de esta categoría son las ADSL y VDSL), las cuales han estado siendo desarrolladas a partir de las conexiones al hogar ya existentes. Otra técnica es la llamada FTTx (*Fiber to the x*) donde *x* puede ser *Home*, *Curb*, *Premises*, etc. A diferencia de las anteriores, FTTx requiere de una instalación de una nueva infraestructura a base de fibra óptica desde la oficina central hasta el usuario final.

### ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)

ADSL es una más de las técnicas de la familia DSL [21]. Por ADSL se entiende aquella tecnología de transmisión que permite a los hilos de cobres convencionales, usados inicialmente para la telefonía, transportar información a alta velocidad. El espectro de frecuencias utilizado es dividido en tres bandas para establecer dos canales de datos, usuario-red (upstream) y red-usuario (downstream), que permiten la transmisión a alta velocidad y un tercer canal, empleado para el trasporte de voz (figura 2.8).

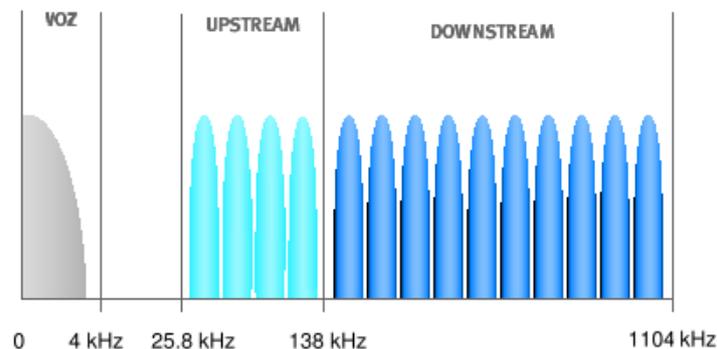


Figura 2.8 División del Espectro de Frecuencias de ADSL

El envío y recepción de datos se establece desde el DSLAM localizado en la oficina central de servicio al usuario a través de un módem ADSL. Estos datos pasan por un filtro (*splitter*), que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico junto con otros servicios. Es decir, el usuario puede hablar por teléfono a la vez que esta disfrutando de otros servicios. ADSL utiliza técnicas de codificación digital que permiten ampliar el rendimiento del cableado telefónico actual. La tecnología ADSL establece tres canales independientes sobre la línea telefónica estándar: dos canales de alta velocidad (upstream y downstream), y un tercer canal para la comunicación normal de voz (servicio telefónico básico). Los dos canales de datos son asimétricos, es decir, no tienen la misma velocidad de transmisión de datos debido a la misma asimetría en el espectro de frecuencias (figura 2.8). El canal de recepción de datos tiene mayor velocidad (8Mbps) que el de envío (1 Mbps). Esta asimetría, característica de ADSL, permite alcanzar mayores velocidades desde la red hacia el usuario, lo cual se adapta perfectamente a los servicios de acceso a información (ej. Internet, video bajo demanda, televisión) en los que básicamente el flujo de la información es de bajada.

La ventaja de este sistema es, principalmente, que la red telefónica ya está disponible en la mayoría de los hogares, y que sólo requiere la adquisición de un módem ADSL por parte del cliente, aprovechando la actual instalación telefónica. La calidad de este servicio está determinada por la distancia desde el hogar hasta la central telefónica y el estado del par de cobre que se utiliza para la transmisión.

### ADSL2 (*Asymmetric Digital Subscriber Line 2*)

ADSL2 añade nuevas características y funcionalidades al ADSL tradicional encaminadas a mejorar las prestaciones y la interoperabilidad; además, agrega soporte para nuevas aplicaciones y servicios [22]. ADSL2 ha sido fundamentalmente diseñado para mejorar la tasa de transmisión y el alcance de ADSL al obtener mejor rendimiento sobre las líneas de cobre. ADSL2 logra esto al perfeccionar la eficiencia de modulación, obteniendo mejor ganancia de codificación y proporcionando mejores algoritmos de procesamiento de señales.

En el mejor de los casos las tasas de transmisión pueden alcanzar los 12 Mbps del canal de bajada y los 1 Mbps de subida dependiendo de la calidad de la línea y la distancia del equipo de usuario al DSLAM.

### ADSL2+ (*Asymmetric Digital Subscriber Line 2+*)

El estándar ADSL2+ es una evolución de los sistemas ADSL y ADSL2 [23]. Así, la tecnología ADSL2+ permite alcanzar velocidades de 24 Mbps de bajada y hasta 1.2 Mbps de subida, unas cifras muy superiores a los 8 Mbps de bajada y 1 Mbps de subida que tiene como tope el ADSL. Esto es posible gracias a que el estándar ADSL2+ trabaja en un margen de frecuencias que va desde los 0.14 MHz hasta los 2.2 MHz para el canal de bajada, de tal manera que duplica el ancho del espectro utilizado en el ADSL y el ADSL2, proporcionando un mayor caudal de información en el sentido red-usuario (figura 2.9).

ADSL2+ es ideal para ser utilizado en distancias cortas, ya que se trata de una tecnología que se ve gravemente penalizada por la distancia. Como consecuencia, cuanto más lejos esté el abonado de la central que le proporciona la conexión, menor será la velocidad de que disponga. Así, a partir de los 2300 metros, la diferencia de prestaciones entre el ADSL2+, el ADSL2 y el ADSL es prácticamente inexistente. (Figura 2.10).

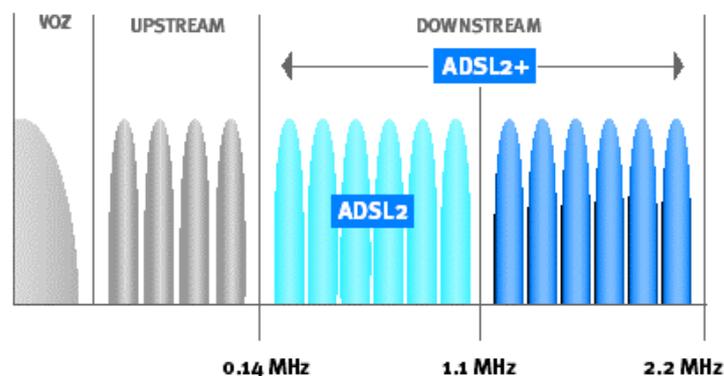


Figura 2.9 División del Espectro de Frecuencias de ADSL2+

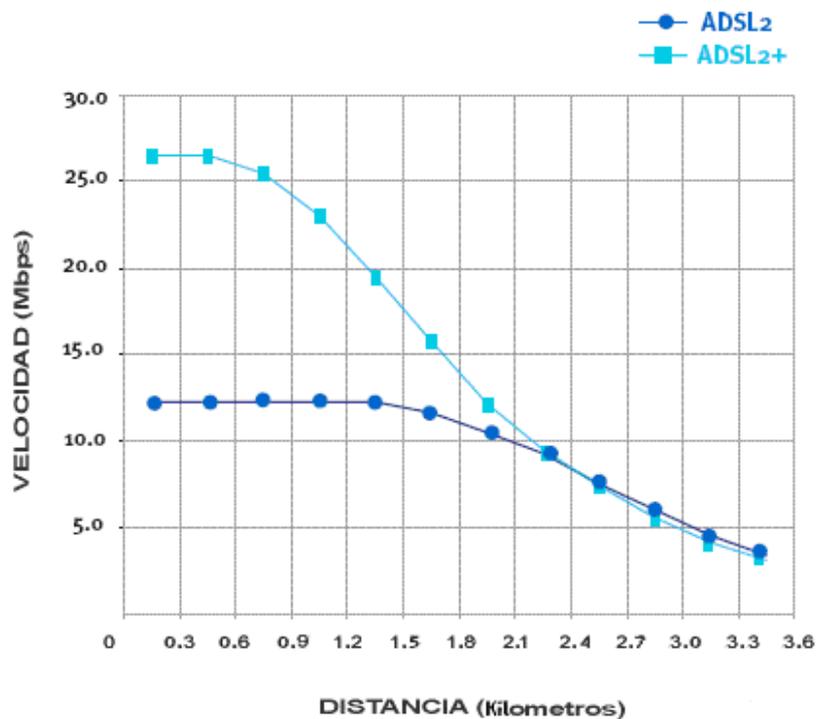


Figura 2.10 ADSL2+ Duplica la Velocidad de Downstream a Distancias Cortas. [24]

## IPTV sobre las Tecnologías ADSL

Con las soluciones ADSL, los operadores telefónicos mantienen una significativa ventaja sobre los operadores de cable al proporcionar servicios de IPTV a grandes masas. ADSL sigue siendo la tecnología de banda ancha a la que más usuarios se subscriben alrededor del mundo, 66% de un total 225 millones de suscriptores al 2006. [25]

Los flujos de video provenientes del *headend* son enviados a la central telefónica, en donde el equipo de red se encarga de encapsular el contenido en los diferentes protocolos tradicionales de transporte como ATM. Los flujos de video son enviados al DSLAM el cual se encarga de retransmitir el contenido a múltiples usuarios. Cuando la información alcanza la *home network*, es enviada al módem ADSL que a su vez la transfiere al *Home Gateway* y después al STB para su visualización en un televisor.

Dependiendo de la tecnología ADSL usada, del ancho de banda de última milla<sup>4</sup> disponible, y de la técnica de compresión de video, los usuarios pueden recibir entre 2 canales SDTV hasta unos cuantos canales HDTV.

<sup>4</sup> Conexión final para entregar conectividad de un proveedor de comunicaciones a un usuario

### **VDSL (*Very High Speed Digital Subscriber Line*)**

Aunque la implementación de ADSL2+ supone un avance muy significativo respecto al ADSL tradicional, las operadoras de telecomunicaciones ya están trabajando en nuevas tecnologías que ocuparán su lugar en un futuro a medio plazo debido a la gran demanda de ancho de banda.

VDSL [26] es una tecnología de la familia DSL que provee transmisión de datos hasta un límite teórico de 52 Mbps de bajada y 15 Mbps de subida ya que el límite de frecuencia se expande a 12 MHz. VDSL puede ser simétrico o asimétrico por lo que el ancho de banda se divide en dos partes iguales en el caso del VDSL simétrico.

La más reciente tecnología DSL estandarizada VDSL2 [27] habilita velocidades de transmisión aún mayor, aproximadamente 100 Mbps, incrementando el rango de frecuencias hasta 30 MHz. VDSL2 está desarrollado específicamente para soportar múltiples canales HDTV.

Sin embargo, al igual que ADSL, VDSL también se ve penalizada por la distancia, de tal manera que a 850 metros del DSALM de la central, la velocidad se reduce a tan solo 25 Mbps, valor comparable con los 24 Mbps de ADSL2+ (Figura 2.11).

### **IPTV sobre las Tecnologías VDSL**

Las altas capacidades soportadas por VDSL permiten a los usuarios recibir múltiples canales HDTV. Con VDSL, la infraestructura de la red principal hasta la oficina central telefónica está basada en fibra óptica, mientras que la conexión de última milla es sobre las líneas de cobre telefónicas.

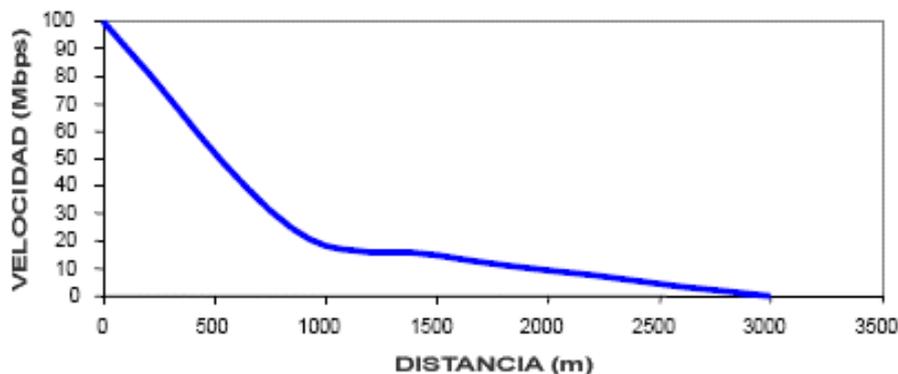


Figura 2.11 Velocidad de Transmisión vs. Distancia en VDSL. [20]

### FTTx (*Fiber to the x*)

FTTx es el nombre general utilizado para describir una arquitectura de red donde la fibra óptica es llevada lo más cerca posible al usuario final. Estas arquitecturas incluyen *Fiber to the Home (FTTH)*, *Fiber to the Premises (FTTP)*, *Fiber to the Business (FTTB)*, *Fiber to the Node (FTTN)*, y *Fiber to the Curb (FTTC)*. Una red FTTx puede ser definida como pasiva o activa. En una PON (*Passive Optical Network*), una señal óptica puede ser dividida para 16 o 32 usuarios en algún lugar del trayecto entre cada usuario y la oficina central. Una AON (*Active Optical Network*) es una solución punto a punto.

La diferencia que existe entre las distintas arquitecturas FTTx es identificando hasta donde exactamente llega PON entre el proveedor y el usuario. (Figura 2.12)

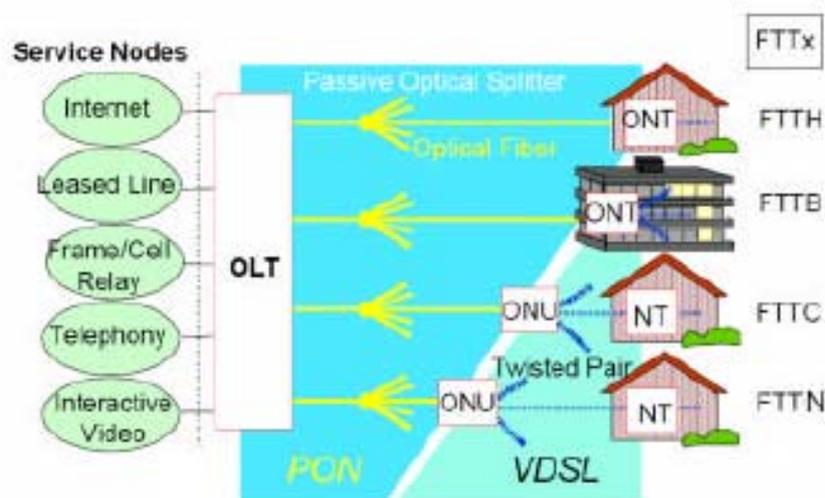


Figura 2.12 FTTx Basada en PON [28]

El enlace óptico dedicado entre el *headend* y el usuario proporciona más ancho de banda y una mejor seguridad. Sin embargo, se requiere de la instalación de toda una infraestructura de fibra óptica, lo cual representa una gran desventaja para los operadores de telecomunicaciones. Un sistema PON provee tasas de transmisión hasta 1.25 Gbps a una distancia de 20 Km.

FTTH, FTTB y FTTP comparten la característica de que la fibra va directamente al usuario final. La simple distinción entre éstas es el tipo de edificación en donde el usuario se halla localizado.

FTTN y FTTC tiene la propiedad de que entregan fibra óptica solo parte del camino entre el *headend* y el usuario final. La otra parte se confía a alguna arquitectura de red basada en líneas de cobre, normalmente VDSL, para conectarse directamente al usuario. Con FTTN la fibra puede llegar a un nodo que dé servicio a 400 o 600 usuarios. FTTC hace llegar la fibra óptica un poco más cerca del usuario, a un nodo de 8 a 24 usuarios.

No importa que método sea elegido. Se debe considerar que entre más porcentaje de fibra óptica se tenga, mayor será el ancho de banda disponible para el usuario final; no obstante, hay que tomar en cuenta también los gastos en la implementación de la infraestructura de una red óptica.

### **IPTV sobre la Tecnología FTTH**

En FTTH, el flujo de video es transmitido sobre la red de fibra óptica a tasas de transmisión hasta de 155 Mbps. Tales tasas permiten a los usuarios recibir una cantidad considerable de canales HDTV, con la finalidad de visualizarlos en varios televisores dentro de un mismo hogar.

### **Tecnologías Inalámbricas**

Los servicios inalámbricos de banda ancha operan en el rango de las frecuencias de microondas, especialmente entre 2.0 y 43 GHz. Las frecuencias por arriba de los 10 GHz son muy ventajosas ya que se necesitan antenas más pequeñas, lo que facilitan la instalación de la infraestructura inalámbrica. Sin embargo, estas frecuencias están limitadas en distancia por las condiciones climatológicas y otros factores.

A continuación se describen las soluciones inalámbricas más conocidas.

#### **WiFi (*Wireless Fidelity*) y WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)**

WiFi es el estándar IEEE 802.11 que emplea la frecuencia de 2.4 GHz. Las señales que operan en esta frecuencia tienen gran habilidad de penetración, y por lo tanto, permiten que los servicios de WiFi se transmitan con bajo nivel de potencia, manteniendo distancias de 30 metros dentro de una construcción y 450 metros fuera de ella, sin línea de vista. Los actuales modelos de WiFi soportan tasas de transmisión hasta de 54Mbps.

WiMax es el estándar IEEE 802.16 que puede emplear las frecuencias 3.5GHz, 2.3/2.5GHz, o 5GHz; fue diseñado para entregar acceso inalámbrico de banda ancha sobre grandes distancias. Su objetivo es reemplazar o competir directamente con el Internet por Cable y el ADSL, ya que mediante una sola torre se tendrá cobertura de hasta 50 kilómetros a tasas de transmisión de hasta 75 Mbps.

## Redes de Telefonía Celular

Los sistemas digitales de telefonía celular basados en GSM (*Global Systems for Mobile Communications*) y GPRS (*General Packet Ratio Service*) son conocidos como tecnologías 2G y 2.5 G (Segunda Generación y Generación 2.5). UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Services*) es la llamada tercera generación (3G) para telefonía celular. Los sistemas 3G utilizan modulación CDMA y ofrecen tasas de transferencia máximas entre 384 kbps y 2 Mbps. Se espera que para el 2010 surja la cuarta generación, la cual brinde tasas de hasta 50 veces más que los sistemas de 3G.

### 2.1.4 Equipo de Acceso y de Subscriptor

El equipo de acceso y de subscriptor es aquel que se encuentra localizado en el punto final del sistema IPTV. Conforman lo que se denomina como *Home Network*.

La *Home Network* es el espacio en el que termina la red de transporte de la compañía telefónica y comienza el sitio del suscriptor. En esta interfaz se hallan el *Home Gateway*, el *STB* y el televisor.

#### **Home Gateway**

El *Home Gateway* es el dispositivo que, por un lado, va conectado a la red de acceso ya sea por líneas de cobre o por fibra óptica, y por el otro, al equipo STB normalmente mediante una interfaz Ethernet. Provee un punto de conexión entre diversos dispositivos, por ejemplo, múltiples STB's y PC's dentro del hogar. El *Home Gateway* incluye el ADSL módem, por lo tanto el ancho de banda ofrecido a los aparatos de la *home network* es al menos del rango de la línea ADSL usada.

Es un ruteador multicast que, como ya se había hecho mención, emplea el protocolo IGMP para administrar el tráfico de los grupos multicast que el LHR envía hacia la *home network*. Controla el tráfico IPTV hacia el STB y las solicitudes de cambio de canal por parte del usuario. Verifica los paquetes IP que contienen mensajes IGMP, recoge la información de los grupos y miembros de grupo, y dirige el tráfico multicast de un grupo hacia los STB's miembros de ese grupo.

### **STB (Set Top Box)**

El *STB* es un componente con una infraestructura de hardware y software que es empleado por los usuarios de IPTV. El hardware consiste en un procesador de propósito general, memorias RAM, un buffer, y un subsistema de video que produce la señal de televisión analógica. Además, incluye un subsistema de decodificación y descriptación. El software típicamente consiste de un sistema operativo, una infraestructura de aplicaciones tales como web browser<sup>5</sup>, y una base de datos que contiene información acerca de cada usuario.

El STB es la interfaz directa al suscriptor; es el dispositivo encargado de decodificar y descomprimir los flujos de video, descriptar los contenidos y comprobar las licencias DRM.

También se encarga de procesar las instrucciones de control que el suscriptor ordena. Usando los mensajes *Join-Leave* del protocolo IGMP, el STB se comunica con el *Home Gateway* para pedirle la unión a un grupo multicast correspondiente a un canal de televisión y/o pedirle el cambio de uno a otro.

Como se verá más adelante, el diseño y la implementación del STB representarán un factor determinante en el procesamiento de las instrucciones del usuario, sobre todo en los cambios de canal.

### **Televisor**

El Televisor puede ser considerado como un aparato “pasivo”, es decir no procesa las instrucciones de cambio de canal; simplemente su función es la de presentar la imagen y sonido a los usuarios.

#### **2.1.5 Software de Servicio**

El Software es el responsable de presentar algunas funcionalidades del servicio al usuario final, de modo gráfico y amigable; como el EPG (*Electronic Programming Guide*), la creación de ofertas de servicios (e-mail, navegación de Internet, video sobre demanda, canales de TV y de música) y su respectiva entrega en la red de distribución, administración de interacciones con el cliente y cualquier sistema de administración y/o protección de derechos, facilidad de grabación de los canales de TV hacia el disco duro del STB en el *Home Network*; por mencionar algunos (Figura 2.13)

---

<sup>5</sup> Aplicación usada para acceder a información web



Figura 2.13 Oferta de Servicios

### **EPG (*Electronic Programming Guide*) y BC (*Broadcast Client*)**

A menudo, el EPG es implementado como un servidor HTTP que muestra las listas de canales disponibles como páginas web. También surte al STB las llaves necesarias para la descryptación de los contenidos multicast. El EPG suministra información acerca de los canales de televisión disponibles a la aplicación BC (*Broadcast Client*) que se encuentra activa en el STB, la cual es responsable de proporcionar al usuario una interfaz de control de los servicios IPTV. El EPG, en conjunto con el BC, autentifica y autoriza a un usuario para que acceda a los servicios ofrecidos por IPTV.

El EPG también proporciona las direcciones multicast IP para las cuales un canal es remitido; el BC utiliza esas direcciones en los mensajes IGMP que son enviados del STB al *Home Gateway* durante el proceso del cambio de canal.

### **Base de Datos del Subscriptor**

La base de datos del subscriptor contiene información acerca de cada usuario, por ejemplo, a cuales servicios el subscriptor tiene autorización de uso, información necesaria para la facturación del servicio, etc. Esta base de datos puede incluso tener información que puede ser empleada para la autenticación del usuario. Un ejemplo de este tipo de información sería el nombre de usuario y contraseña que es utilizada por el EPG para identificar y autenticar un subscriptor de servicios IPTV.

## 2.2 Aplicaciones y Servicios de IPTV

IPTV no solo permite disfrutar la TV de alta definición sino también diversos servicios interactivos que incluyen diversos tipos de servicios como son:

- Sondeos de opinión
- Encuestas
- Subastas
- Compras
- Noticias
- Información meteorológica
- Juegos
- Descargas móviles

Algunas aplicaciones que ofrece IPTV son:

### a) Interactividad

La TV interactiva nos permite no solo obtener información útil sino también jugar una parte activa en programas de TV, las aplicaciones de TV interactiva se basan en el estándar ATSC con la plataforma ACAP( Advanced Common Application Platform) Esta plataforma es una norma usada por la radiodifusión para hacer interactivo el servicio de la TV y está considerada como una base común para todos los sistemas de TV interactivos de cable y terrestres. El esquema comprende un sistema totalmente interactivo, utilizando como canal de retorno el uso de Internet.

### b) Video sobre demanda

A través de una guía, el usuario podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el STB y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee. La programación que las empresas ofrecerán está basada tanto en los canales tradicionales, como en canales más específicos sobre un determinado tema, para que el cliente seleccione los de su gusto. Además se emitirán eventos deportivos o películas de estreno bajo *pay per view*, es decir abonando una cantidad adicional a la tarifa del servicio para poder verlas. Se trata de comprar los contenidos que se deseen ver para confeccionar una televisión a la carta. La IPTV gracias a sus características permitirá almacenar los contenidos para verlos las veces que se desee, pero además permitirá realizar pausas, avanzar, retroceder... etc. como si de una cinta de video o DVD se tratase.

c) Publicidad Personalizada

En el sector publicitario, al tratarse de información que llega a través de Internet, podrían personalizar sus anuncios, para que el usuario con tan solo hacer un clic pueda acceder a la compra de sus productos.

d) Teletexto

Los textos mostrados en pantalla podrán ser mayores y con mayor información de interés para el usuario. Éste recibirá información sobre algún producto o estadísticas en eventos deportivos.

e) Guía electrónica

La EPG (*Electronic Programming Guide*), o guía electrónica de programas, es otra aplicación que interpretará la información sobre programas de las emisoras y se la mostrará al usuario, dando la posibilidad de programar la grabación de programas, ver la descripción de los mismos, etc.

### 2.3 Ventajas de IPTV

La IPTV por sus propias características físicas y técnicas permite a los usuarios disfrutar de una serie de ventajas respecto a los usuarios de televisión digital convencional.

- Video bajo demanda. La posibilidad de disfrutar de la televisión a la carta es la principal ventaja que pueden encontrar los usuarios respecto a la televisión digital convencional. Un usuario de IPTV puede elegir qué película programar o ver y a que hora verlo. Por lo tanto, un usuario de IPTV no estará sometido a los horarios del proveedor para disfrutar los contenidos.
- Mayor contenido. La IPTV ofrece mayor contenido en cuanto a canales, eventos de estreno y acontecimientos deportivos que el resto de los sistemas digitales. Esto es así, porque la información que emiten éstos es fácilmente portable a datos que pueda llevarse por la red hasta el hogar de los abonados. Además, la IPTV cuenta con la ventaja de que la oferta de los contenidos de los que dispone es mucho menos limitada, pudiendo, por ejemplo, tener un almacén de películas en los servidores a disposición de los usuarios que las soliciten. Mientras, la televisión digital convencional sólo puede tener un número determinado de películas o eventos en emisión por un tiempo mucho más reducido que la IPTV, ya que el proveedor de contenidos de IPTV puede tener las películas almacenadas en el servidor durante mayor tiempo.

- Comodidad en la visualización. En el formato de video bajo demanda, un usuario descarga la película o el video deseado y puede disfrutar de éste cuantas veces desee. Es más, tiene incluso la posibilidad de, por ejemplo, parar una película en el momento que él decida o incluso rebobinar si quiere volver a ver una escena. El video bajo demanda funciona como si se tratara de una cinta de video o DVD.
- Publicidad a la carta. Al tratarse de información que llega al usuario a través de Internet, éste puede personalizar los contenidos de la publicidad que le llega. Esto es, que un usuario puede determinar cuales son las áreas de interés sobre las que le gustaría recibir ofertas de publicidad. De esta forma se evita perder el tiempo en contenidos publicitarios que resultan infructuosos o de bajo interés y se hace de la publicidad un contenido más que ofrecer al cliente para su provecho.
- Servicios de Información. De la misma forma que el usuario de la televisión convencional puede acceder a contenidos de información a través del teletexto el usuario de IPTV puede contar con servicios de información mucho más extensos, precisos y potentes que éste. Se podrían solicitar contenidos informativos de las principales fuentes de Internet de una manera cómoda empleando el control remoto.
- *e- Learning*. Al igual que se puede emplear la infraestructura existente de IPTV para poder aprovechar los contenidos de información, también se puede usar para recibir cursos de formación dirigidos a todos los niveles de aprendizaje. Pueden recibirse de esta forma contenidos de información muy variados como pueden ser cursos de inglés para niños, documentales interactivos de ciencia, naturaleza, etc. El contenido interactivo de las descargas hacen que el usuario pase de ser un simple espectador a tomar parte interactiva en el proceso de aprendizaje.
- Servicio de correo y facturas electrónicos. Todas aquellas facturas y mensajes e-mail de la que el usuario desee recibir noticias urgentes, podrán ser redirigidas a la pantalla de video, de forma que al conectarse el cliente al servicio, reciba toda esta información de interés de forma automática.

Por su propia naturaleza y su íntima liga con Internet para la transmisión de la información, IPTV está por encima de la televisión convencional. Sin embargo debidos a los grandes volúmenes de información que es necesario transmitir para ofrecer todos los contenidos, se requiere de enlaces de gran capacidad, lo que hace que su implementación no sea en la actualidad más extendida.

## 2.4 Implementación de IPTV en el Mundo

El país pionero fue el Reino Unido y su empresa "Kingston interactive TV". En España, varias empresas de comunicaciones están empezando a ofrecer IPTV. Telefónica ofrece un servicio de televisión IP bajo el nombre de Imagenio que cuenta con 250 mil usuarios a sus servicios de IPTV. La compañía de telecomunicaciones Jazztel también se ha unido a esta tecnología y ofrece el servicio con el nombre Jazztelia TV.

En el resto de Europa también diversas compañías empiezan a ofrecer sus servicios de IPTV. En Francia, France Telecom lanzó su primer producto de IPTV a finales de 2003. Deutsche Telecom en Alemania lanzó su apuesta por IPTV en 2004. La empresa italiana Fastweb está ofreciendo IPTV sobre redes con conexiones 20 veces mayor que la actual y es uno de los mayores referentes en Europa de estos servicios.

En EE.UU. las compañías Verizon y Bellsouth están comenzando a ofrecer sus servicios en este campo y a desarrollar sus infraestructuras.

A principios del 2006 se firmó en Miami un nuevo acuerdo entre dos gigantes de las telecomunicaciones, estos son el Grupo Telefónica de España y Lucent Technologies. Este importante acuerdo estratégico busca impulsar el desarrollo y la cobertura mundial del IPTV mediante la empresa española.

En República Checa, Brasil, Chile y España, Lucent se encargará, mediante su división de servicios, de la integración de los componentes aportados por otros fabricantes y que forman parte de la solución completa de IPTV de Telefónica.

Gracias a este acuerdo, Lucent abrirá centros de investigación y desarrollo en España y Brasil como medida de apoyo al operador

En cuanto a compañías dedicadas a la tecnología, Microsoft ha sido la que ha mostrado una mayor intención por desarrollar su tecnología para ofrecer Televisión sobre IP. Se basa en su tecnología "*Windows Media Series*" que permite descargar desde Internet miles de videos, con películas o capítulos de las series televisivas.

CISCO es otra de las empresas interesadas en desarrollar tecnología para televisión por IP.

Siemens está ayudando a dos operadoras de líneas fijas chinas, China Telecom y China Netcom Group, a actualizar sus redes para la IPTV, con su servicio comercial ya desarrollándose en varios mercados.

### 3. Escenario del Cambio de Canal en Sistemas IPTV

IPTV está llegando a ser el sistema preferente de los usuarios que gozan de los servicios *triple play*. El conservar una buena calidad de imagen televisiva y un tiempo tolerable de cambio de canal es esencial para asegurar la completa adopción y retención de este sistema por parte de los consumidores.

Es fundamental mantener tiempos de retardo de cambio de canal aceptables dentro, tanto de la infraestructura de red como del equipo de acceso y subcriptor, por ejemplo, el STB. Este retardo puede afectar el funcionamiento de la red de diversas formas que pueden incluso degradar la calidad del audio y video. No será de satisfacción del usuario que, al cambiar de canal, experimente tiempos muy altos de espera al visualizar el siguiente canal de televisión y que además éste sea de baja calidad.

El tiempo de cambio de canal se define como el tiempo que pasa entre la selección de un nuevo canal por parte del usuario y el momento en que aparece en pantalla la primera imagen del programa de televisión correspondiente al nuevo canal.

La calidad de audio y video puede ser degradada si el retardo en el sistema es constante, resultando en imágenes y sonidos distorsionados. La calidad de servicio en la red tiene que ser muy bien diseñada para permitir que el video tome prioridad sobre otros tipos de tráfico cuando una congestión en la red ocurra.

Este capítulo describe la metodología que se lleva a cabo cuando un usuario cambia de canal, se explica a detalle el mecanismo y el papel que juega cada componente del sistema IPTV. Además se explicarán los factores que contribuyen al retardo en dicho cambio, y algunas métricas empleadas para medir el tiempo de retardo en la red.

#### 3.1 Proceso del Cambio de Canal en Sistemas IPTV

En el capítulo anterior, se revisó de manera general la arquitectura IPTV, su funcionamiento y los componentes del sistema. En esta sección se explicará a detalle el mecanismo de cambio de canal y la función que realiza cada elemento.

En el ambiente de televisión por cable, todos los canales siempre están “presentes” en la línea de transmisión, por esta razón el cambio de canal se hace de manera instantánea requiriendo de un simple paso. Al apretar un botón, el STB ordena al sintonizador elegir una frecuencia diferente, una vez que la señal es adoptada, la imagen puede ser procesada en el hardware y vista en la pantalla de la televisión. En IPTV, el cambio de canal ocurre de una manera muy diferente.

La figura 3.1 ilustra los pasos que se necesitan para que acontezca el proceso del cambio de canal en IPTV, empezando desde que el usuario aprieta el botón de control remoto hasta que se visualiza la primera imagen en el televisor. Cabe mencionar que los detalles de la implementación varían de proveedor a proveedor, pero básicamente las teorías descritas se mantienen igual.

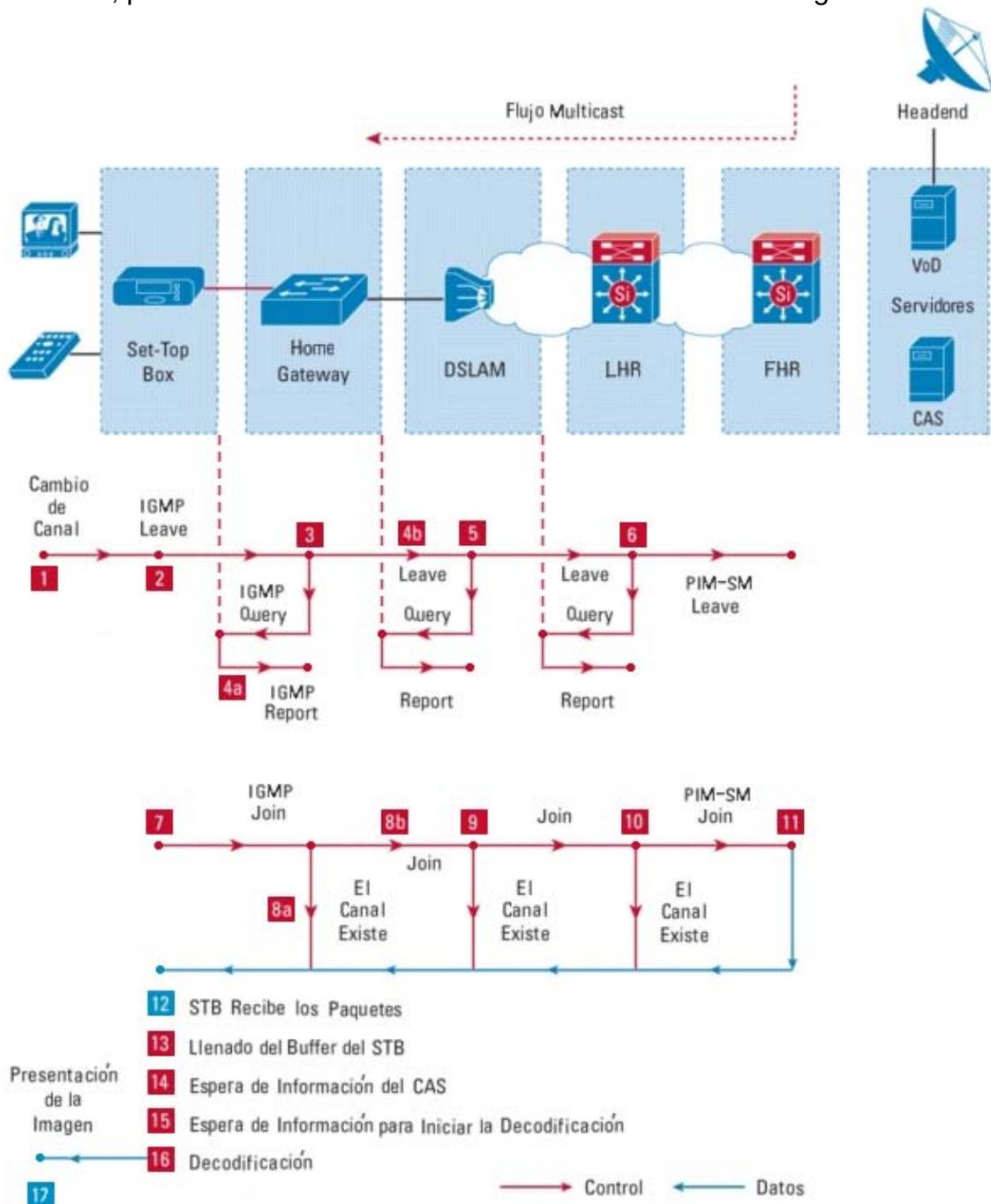


Figura 3.1 Escenario del Cambio de Canal

1. El usuario ya se encuentra viendo un canal de televisión, el STB recibe el flujo multicast correspondiente a ese canal; entonces el usuario procede a seleccionar otro canal, el control remoto envía la señal de cambio de canal al televisor y éste al STB.
2. El STB recibe la señal de cambio de canal, procesa la orden, y solicita al *Home Gateway* que el canal que esté viendo el usuario sea desconectado. Esto se consigue al mandar un mensaje IGMP, el *Leave Group Message*, el cual contiene la dirección IP multicast del grupo correspondiente al canal de televisión que se quiere desconectar.
3. El *Home Gateway*, al recibir el *Leave Group Message*, genera un *Membership Query Message* y lo envía a la *Home Network* con la finalidad de saber si algún otro host tiene pertenencia al grupo que se encuentra en el mensaje *Leave*, o mejor dicho si otro STB sigue interesado en recibir el flujo multicast del canal que se pretende dejar. Este *Membership Query Message* tiene un tiempo máximo de respuesta establecido en el intervalo *last member query*, el cual tiene un valor recomendado de 100 ms [29] y es el tiempo máximo permitido para que los STB's respondan al *Membership Query Message* que les envía el *Home Gateway*.
4. Cuando el *Membership Query Message* llega a cada uno de los STB's conectados al *Home Gateway*, hay dos opciones.
  - a. Si algún otro STB aún tiene pertenencia al grupo multicast, envía un *Membership Report Message* al *Home Gateway*, ocasionando que éste sólo detenga el flujo multicast al STB que así lo solicitó, es decir, este STB deja de ser miembro del grupo multicast. Si existen varios miembros en el grupo, basta con mandar sólo un reporte de uno de ellos con la intención de no saturar la red con tantos reportes.
  - b. El *Membership Query Message* es ignorado por todos los STB's si ninguno de ellos es miembro del grupo multicast especificado dentro del mensaje. Por lo que si ningún reporte es recibido después de que el intervalo *Last Member Query* expira, el *Home Gateway* asume que el grupo ya no tiene miembros dentro de la *Home Network*, entonces detiene el flujo multicast correspondiente al canal y envía un *Leave group message* al siguiente ruteador multicast de la red, ya sea al DSLAM o al LHR.
5. Si el siguiente ruteador multicast es el DSLAM, es decir soporta el protocolo IGMP, los pasos 3 y 4 se repiten pero ahora el DSLAM envía los *Membership Query Message* y los *Home Gateway* conectados a él le responden con los *Membership Report Message* si es que siguen interesados en recibir el flujo multicast, si no, el DSLAM asume que el grupo multicast ya no tiene miembros y envía un *Leave group message* al LHR. Si el DSLAM no soporta el protocolo IGMP, este paso se anula y el siguiente ruteador multicast sería el LHR, de esta manera el LHR interactuaría directamente con el *Home Gateway*.

6. En este punto los pasos 3 y 4 se repiten, pero ahora el LHR envía los *Membership Query Message* y los DSLAM conectados a él le responden con los *Membership Report Message* si es que siguen interesados en recibir el flujo multicast, si no, el LHR asume que el grupo multicast ya no tiene miembros y solicita al FHR que detenga el flujo multicast correspondiente al canal mediante un mensaje de abandono PIM-SM. Si el DSLAM no soporta el protocolo IGMP, el LHR entablaría el diálogo IGMP directamente con el *Home Gateway*.

Cuando un STB ya no es miembro del grupo multicast correspondiente a un canal de televisión, el tiempo requerido para remover ese canal, al no haber más miembros en el grupo, es igual a 3 veces el intervalo *Last Member Query*; así que entre más pequeño sea este valor más rápido será liberar los recursos sin uso [29].

7. Después de que el STB envía el *Leave group message* al *Home Gateway*, manda un *Join group message* el cual especifica el grupo multicast del nuevo canal que el usuario ha elegido.
8. Cuando el *Join group message* llega al *Home Gateway* existen dos opciones:
  - a. Si hay algún otro STB incorporado al grupo multicast del cual está solicitando la adquisición el STB inicial, esto significa, que algún usuario conectado al mismo *Home Gateway* ya está viendo el canal solicitado, el *Home Gateway* puede sólo copiar el flujo del nuevo canal y transmitírselo al STB demandante.
  - b. Si no hay miembros conectados al mismo *Home Gateway*, éste envía un *Join group message* al siguiente ruteador multicast solicitando el flujo del canal requerido.
9. Si el siguiente ruteador multicast es el DSLAM, los pasos 7 y 8 se repiten pero ahora el *Home Gateway* envía el *Join Group Message* al DSLAM y éste verifica si el flujo del canal ya existe. Si no, envía un *Join Group Message* al LHR.
10. En este punto se vuelven a repetir los pasos 7 y 8, pero ahora el DSLAM envía el *Join Group Message* al LHR y éste verifica si el flujo del canal ya existe. Si no, solicita al FHR el envío del flujo del canal mediante un mensaje de adquisición (*Join*) PIM-SM.

Si el DSLAM no soporta el protocolo IGMP, el LHR recibiría los mensajes *Join* directamente del *Home Gateway*.

11. La fuente multicast siempre alimenta al FHR con todos los canales (modo PIM-SM). De manera que cuando una solicitud de adquisición llega, el FHR sólo necesita copiar el flujo multicast apropiado y enviarlo al LHR. EL canal se transmitirá a través de la red principal y la red de acceso hasta alcanzar el STB.

12. El STB debe ser capaz de adquirir los canales solicitados exitosamente. El canal de televisión, al alcanzar la *Home Network*, empezará a fluir del *Home Gateway* al STB a través de la interfaz Ethernet y eventualmente finalizará en la memoria del STB.
13. En esta etapa el buffer del STB debe ser llenado en su totalidad para poder empezar el proceso de descryptación y decodificación.
14. Si el contenido multicast viene encriptado, se necesitan de claves para propósitos de descryptación. Estas claves son proporcionadas por el CAS dentro del mismo flujo de paquetes multicast del canal hacia cada STB. Por lo tanto, solo hasta que el STB llega a ser miembro del grupo del canal, será capaz de recibir esas claves de descryptación y, consecuentemente, empezar el proceso.
15. Por otra parte, con el fin de comenzar con el proceso de decodificación y construcción de una imagen a partir del flujo de paquetes multicast el STB se encuentra en espera de reunir la información necesaria del flujo entrante que sólo está disponible periódicamente.
16. Después de agrupar la información requerida del flujo multicast entrante, el STB puede iniciar el proceso de decodificación.
17. Y sólo entonces la primera imagen del nuevo canal puede ser presentada en el televisor y vista por el usuario.

### 3.2 Factores que Afectan el Tiempo de Cambio de Canal

En cualquier implementación de red que se tenga en IPTV, la calidad del video no es sólo función del ancho de banda de la red, ya que existe un gran número de parámetros que favorecen la percepción por parte del usuario, ya sea de buena o mala calidad.

Cuando el flujo de video llega al STB y finalmente al televisor, tuvo que haber pasado a través de varios protocolos de red (UDP, IP, ATM, Ethernet, etc.). Es la interacción entre estos protocolos como la influencia de factores externos que afectan la calidad de video percibida por el usuario, A menudo esto se refiere como calidad de experiencia (QoE). Algunos de los parámetros que influyen en el QoE de cada usuario son la falta de definición de la imagen y distorsión de la misma, así como del audio, y el tiempo de retardo en el cambio de canal.

Además del problema del ancho de banda, un elemento clave de QoE para IPTV es el retardo en el cambio de canales. ¿Cuánto tiempo se lleva al cambiar de un canal a otro? ¿El consumidor obtendrá el canal correcto? ¿Si el usuario cambia de canal rápidamente el retardo será más grande? ¿Qué pasará si la red crece (más canales o mas suscriptores)? ¿Cómo se verá afectado el tiempo de cambio de canal con servicios adicionales de voz y datos? Estas son preguntas

que los operadores de telecomunicaciones que planeen ofrecer servicios de IPTV se deben hacer para evaluar su equipo de red y de acceso, y así poder asegurar retardos de cambio de canal adecuados para entregar servicios de calidad al usuario final.

Como se pudo apreciar en el análisis anterior, existe una gran variedad de procesos involucrados en el procedimiento del cambio de canal, y cada uno de ellos contribuye al retardo que un usuario experimenta al cambiar de canal.

El retardo en el cambio de canal es principalmente generado por la red y el STB provocado generalmente por los siguientes factores.

- Procesamiento en el comando de solicitud de cambio
- Retardo en la Red
- Procesamiento y Almacenamiento en el STB
- Retardo debido al proceso de descriptación
- Retardo debido al proceso de decodificación [29]

#### 3.2.1 Procesamiento en el Comando de Solicitud de Cambio

El tiempo de procesamiento de comando es el intervalo de tiempo entre la acción del control remoto y la transmisión del *Leave Group Message* por parte del STB.

Para reducir este tiempo se ha trabajado en la electrónica del control remoto permitiendo así tener tiempos de respuesta menores a los 6 ms.

Con un buen diseño de hardware del STB, los tiempos de respuesta de los comandos disminuyen aún más.

#### 3.2.2 Retardo en la Red

Se refiere al intervalo de tiempo entre la transmisión del *Leave Group Message* y la recepción del primer paquete del nuevo flujo multicast de video.

Son los componentes de la red los que finalmente entregan los flujos multicast a los STB's. Por lo que un buen diseño de la implementación de los protocolos en los ruteadores multicast minimizará el retardo en la red al entregar el flujo de video al STB.

Para determinar el retardo en la red al cambiar de canal, las siguientes métricas son aplicadas:

*IGMP Leave Latency*. Es el tiempo entre la transmisión del *Leave Group Message* y la recepción del último paquete del grupo multicast correspondiente al canal del cual se pretende desconectar. Puede variar de 50 a 200 ms [30].

*IGMP Join Latency.* Es el tiempo entre la transmisión del *Join Group Message* y la recepción del primer paquete del grupo multicast correspondiente al nuevo canal. Si este tiempo es muy alto, resultará en un despliegue lento de las imágenes del nuevo canal. Este valor puede estar en el rango de 50 a 300 ms [30].

*Channel Overlap.* Es el tiempo que pasa al desconectar un canal mientras ya se tiene adquisición a otro. Esto resulta si el valor del *IGMP Leave Latency* es muy grande a comparación del *IGMP Join Latency*, lo cual puede tener un efecto significativo en la visualización de los contenidos. La razón es que si el canal anterior no es desconectado apropiadamente a tiempo, se pueden acumular múltiples flujos de diferentes canales; si estos flujos exceden la capacidad de la red de acceso, los paquetes pueden ser desechados ocasionando la pérdida de calidad de video como imágenes revueltas, pantallas en blanco, audio descompuesto, etc.

Esto se puede ilustrar con el siguiente ejemplo. Suponiendo que se tiene una línea DSL hacia el hogar de 25 Mbps, que el usuario es un típico *channel surfer*<sup>1</sup> y además está viendo un canal que utiliza una tasa de transmisión de 6 Mbps; tan pronto el usuario cambia de canal, las solicitudes de adquisición y abandono son iniciadas para cada canal, si el *Join Latency* es pequeño y el *Leave Latency* es muy grande, puede originar la situación mostrada en la figura 3.2. Aquí los 25 Mbps son consumidos rápidamente generando la degradación del video.



Figura 3.2 *Channel Overlap*

*Channel Switch Delay* (dependiente del STB). Es el tiempo en que el STB tarda en mandar un *Join group message* después de haber mandado un *Leave Group Message*. Este valor depende de que tan veloz sea el procesamiento dentro del STB, por lo que éste puede introducir un retardo considerable.

*Channel Change/Zap Delay.* Tiempo de cambio de canal, en sí este parámetro representa el retardo en la red. Se define como el tiempo transcurrido entre en envío del *Leave Group Message* y la recepción del primer paquete de información del nuevo canal. Este valor es la suma del *IGMP Join Latency* más el *Channel*

<sup>1</sup> Que cambia constantemente de un canal a otro.

*Switch Delay.* Generalmente el valor de este retardo tiende a ser el del *IGMP Join Latency* al ser éste muy grande a comparación del *Channel Switch Delay*. Cabe mencionar que este valor depende de si el nuevo canal existe o no en el *Home Gateway*, si no, hay que sumarle los valores *IGMP Join Latency* generados al enviar más *Join Group Messages*.

El diagrama de tiempos mostrado en la figura 3.3 ejemplifica los retardos anteriormente descritos.

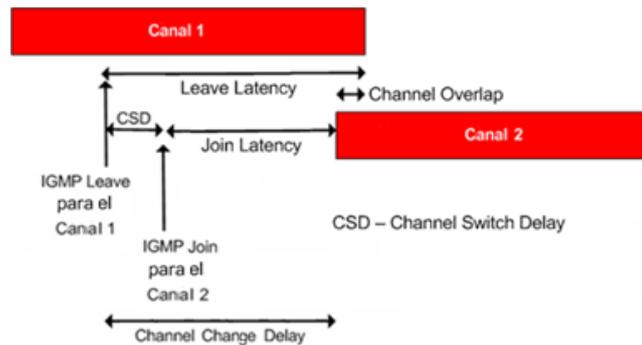


Figura 3.3 Diagrama de Tiempos de Retardo en la Red

El tiempo de retardo en la red es un factor que no se presenta en los servicios tradicionales de televisión (cable, satelital y terrestre), este factor se presenta únicamente en IPTV debido a que en este sistema no se tienen todos los canales disponibles en el equipo del usuario, por lo que se tienen que transmitir a lo largo de toda la red. Además hay que tomar en cuenta el ancho de banda disponible en la red, y la cantidad de subscriptores.

Un valor recomendado para este retardo es de 500 ms [29].

### 3.2.3 Procesamiento y Almacenamiento en el STB

El tiempo de procesamiento y almacenamiento en el STB es el tiempo que el STB necesita para almacenar los paquetes entrantes, procesarlos y entregar su contenido al decodificador de MPEG.

Un retraso en la transmisión de los paquetes puede causar que todo el flujo se retrase ese tiempo y se pierda.

El retardo en la transmisión de paquetes se debe a la infraestructura de la red, una red con una adecuada infraestructura disminuye los retardos en el flujo de paquetes hacia el STB. De igual manera, una red menos congestionada tendrá un retardo menor que una con una cantidad mayor de usuarios.

Una de las técnicas utilizadas en la transmisión de video sobre IP con el fin de evitar el fenómeno jitter impuesto por la red es el almacenamiento de los paquetes multimedia en un buffer llamado *STB jitter buffer*. El jitter se refiere a las variaciones precipitadas e indeseadas en los parámetros de las señales, tales como el intervalo de tiempo entre pulsos sucesivos, la amplitud, frecuencia y/o fase; típicamente originado por la congestión en la red. El jitter generado por una infraestructura de red bien diseñada puede tener el valor de al menos 50 ms [19].

Una vez procesados los paquetes en el STB, son enviados al *STB jitter buffer*. Ahí el STB acumula los datos entrantes hasta que la cantidad de datos alcanza un umbral predefinido. Al alcanzarse dicho umbral el proceso de decodificación puede empezar. Si el nivel de jitter generado por la red es muy grande y el tamaño del buffer no es lo suficientemente extenso para reducirlo, se corre el riesgo de obtener baja calidad en el video (Figura 3.4).

Al tiempo en el que el buffer del STB alcanza su almacenamiento total antes del envío de datos hacia el decodificador de video se le llama *STB jitter buffer delay*. Este tiempo depende de que tan grande sea el buffer y éste a su vez depende del grado de jitter que tenga el flujo de video. El tamaño del buffer varía de proveedor a proveedor.

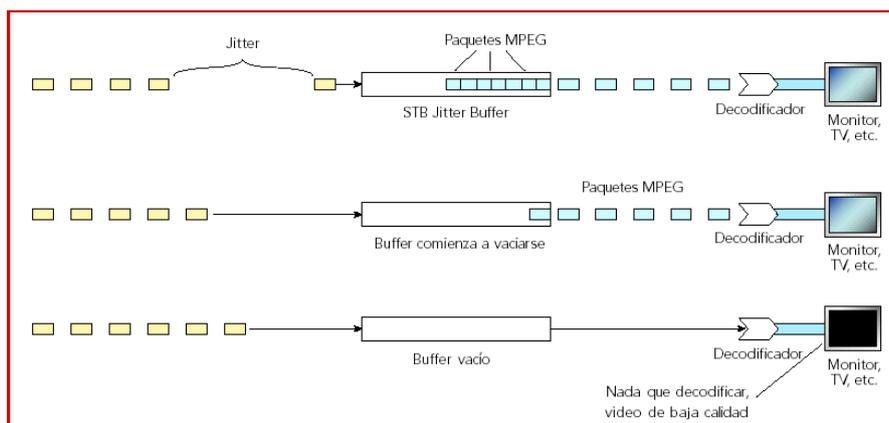


Figura 3.4 Baja Calidad en el Video a Causa de un Alto Grado de Jitter y un Buffer Pequeño

Entre más grande sea la capacidad de almacenamiento del *STB jitter buffer*, mejor será la calidad de video y menor será el grado de jitter. Sin embargo, también será más grande el tiempo en el que el *STB jitter buffer* se llene totalmente y, por lo tanto, mayor será el tiempo que el decodificador espera para comenzar su función.

El *STB jitter buffer delay* tiene un valor aproximado de 200 ms [30].

Probablemente el factor que afecta más al tiempo de cambio de canal es el *STB jitter buffer delay*. Para mejorarlo, se necesita un buffer más pequeño, así será menos el tiempo que el decodificador espere a que el buffer se llene por completo. No obstante, se incrementará el riesgo de que la señal de video se

degrade. Para resolver esto se puede implementar un sistema lo suficientemente eficiente para poder eliminar el jitter a lo largo de la red lo mejor posible.

Existen otros factores que juegan un papel importante en el retardo de cambio de canal debido al procesamiento del STB, tales como la implementación de la arquitectura del software y hardware en él.

### **3.2.4 Retardo Debido al Proceso de Descriptación**

Los canales de televisión pueden estar revueltos o encriptados para proteger los contenidos. Es tarea del STB descriptar el canal, por lo que una serie de claves son requeridas. Esta información de claves es transportada en el mismo flujo del canal de televisión. El que tan frecuente sea presentada la información necesaria para descriptar el contenido determinará que tan rápido el STB empezará a descriptarlo cuando cambia de un canal a otro.

El retardo debido a la descriptación puede variar de 200 a 600 ms [30].

### **3.2.5 Retardo Debido al Proceso de Decodificación**

Es el intervalo de tiempo asociado al proceso de decodificación, el cual tiene un gran impacto en el tiempo de cambio de canal.

Para poder decodificar el flujo de video, se necesita reunir cierta información que sólo está disponible periódicamente, por ejemplo:

*Intraframes.* Son las tramas que contienen suficiente información para decodificar una imagen completa. Se deben reunir bastantes intraframes para que el decodificador pueda empezar su función.

*GOP Headers.* Las tramas son empaquetadas en grupo llamados GOP (Group of Pictures), los cuales tienen encabezados (headers) que incluyen información útil sobre el tiempo de codificación, tamaño de la imagen, tasa de tramas, etc.

Toda esta información es insertada en los flujos periódicamente y desafortunadamente, para obtener mejor compresión, las intraframes deben mandarse con periodos más largos, por ejemplo en MPEG-2 las intraframes llegan cada 15 tramas, esto es cada medio segundo, para MPEG-4 cada 4 o 5 segundos.

Cuando el STB cambia de canal, necesita recibir toda esa información para empezar a decodificar, por lo tanto para disminuir el tiempo de cambio de canal es necesario insertar la información antes descrita más frecuentemente, esto es acelerando la llegada de las intraframes.

El retardo debido a la decodificación puede variar de 500 a 1000 ms dependiendo de la técnica de compresión [30].

## 4. Optimización del Retardo en el Cambio de Canal

Diversos factores toman papel seguido del simple hecho de presionar el botón para cambiar de un canal a otro, ocasionando un retardo considerable y perceptible por el usuario. Probablemente el retraso en la red no es el que cause el retardo mayor. El procesamiento, almacenamiento, descryptación y decodificación llevados a cabo en el STB son los eventos en donde más se demora el cambio de canal. Sin embargo es conveniente tener en mente que el retardo en la red sólo se presenta en IPTV y que todos los demás factores también se presentan en los sistemas habituales de transmisión de televisión digital. La figura 4.1 ilustra los diversos procesos dentro del STB y dentro de la red desde un punto de vista cualitativo.

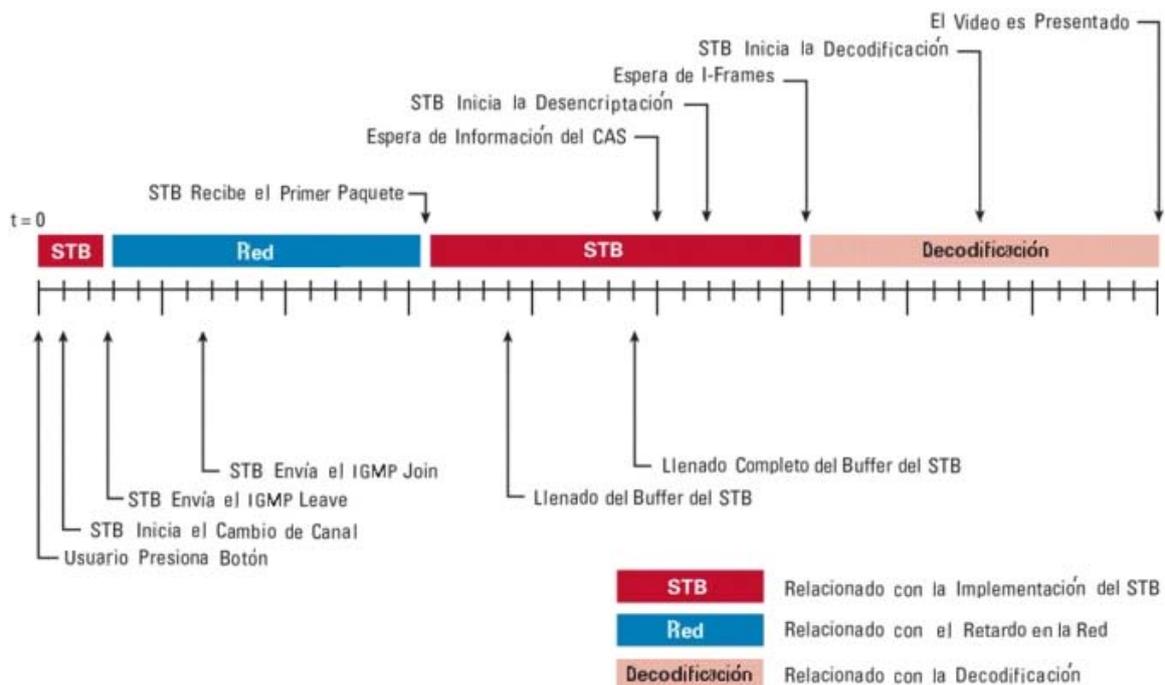


Figura 4.1 Retardo en la Red y en el STB [31]

Existe una variedad de técnicas que pueden mejorar el tiempo de cambio de canal, tanto en el STB como en la red, a continuación se hace mención de unas de ellas.

## 4.1 Propuestas de Optimización del Retardo en el Cambio de Canal

### 4.1.1 Optimización en la Decodificación

Una parte significativa del tiempo de retardo en el cambio de canal es el que se gasta esperando por información de decodificación que está dentro del flujo entrante de video, como las intraframes. El diseño de un sistema que apresure la llegada de toda esta información en el flujo multicast, teniéndola disponible así más frecuentemente, puede ayudar a reducir el tiempo en el proceso de codificación y por ende el tiempo de cambio de canal.

### 4.1.2 Optimización en la Descriptación

Como previamente se analizó, los sistemas de descriptación causan un retardo en el cambio de canal porque el STB tiene que esperar por la información apropiada que contenga las claves necesarias para realizar la función de descriptación. Con la implementación actual del sistema, las claves están disponibles en el mismo flujo del nuevo canal, por lo que sería necesario incrementar la frecuencia con la que esas claves son insertadas en el flujo de transporte.

### 4.1.3 Optimización en la Implementación en el STB

El tiempo de espera de almacenamiento en el *STB jitter buffer* es posiblemente el factor que afecta más al cambio de canal en cuanto se refiere a la implementación del STB. Para mejorar el cambio de canal, se requiere un *STB jitter buffer* más pequeño para que menos tiempo sea desperdiciado en esperar a que se llene totalmente. Esto incrementará el riesgo de degradación de la calidad audiovisual, ahora que existen menores márgenes de error causados por el fenómeno *jitter*. Para remediar lo anterior, se necesitaría tomar en consideración un sistema que reduzca el *jitter* lo menos posible a lo largo de toda la red.

Otros factores que pueden alterar el tiempo de cambio de canal son el funcionamiento del CPU, del sistema operativo, y de las arquitecturas de software y hardware para fines de descriptación y decodificación. El uso eficiente de esquemas de interrupción y el mejoramiento en la organización de almacenamiento en memoria son sólo algunas de las formas que pueden ser importantes para el perfeccionamiento de los tiempos de cambio de canal.

Para mejorar la perspectiva del usuario, el STB puede inmediatamente mostrar una serie de imágenes que contengan el nombre del programa, hora, canal, etc. una vez mandada la solicitud de cambio de canal vía control remoto. Esto asegurará que el usuario nunca verá una pantalla en blanco o negro mientras espera.

#### 4.1.4 Optimización en el Diseño de la Red

Tal como fue planteado anteriormente, el mayor porcentaje de retardo viene de la implementación del STB, decodificación y algunos otros factores. Pese a ello, se puede reducir los tiempos *IGMP Leave Latency* y *IGMP Join Latency* tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

##### **Para el *IGMP Leave Latency***

Si se tienen tiempos de abandono muy altos se obtendrá una degradación inaceptable de la calidad de audio y video. La clave es que los flujos multicast deber ser desconectados lo más rápido posible. Por lo tanto, la funcionalidad del *Home Gateway*, y de todos los demás ruteadores multicast anteriores a él, es de suma importancia. Para una óptima configuración, cada uno de los componentes de la red (incluyendo el FHR, el LHR, el DSLAM y el *Home Gateway*) debe soportar algún tipo función de rápida desconexión de canal llamada *Fast Leave*.

Si un ruteador no llegase a soportar el protocolo IGMP, debe al menos pasar las peticiones de abandono lo más pronto posible al siguiente ruteador multicast, donde es recomendable que la función *Fast Leave* sea implementada.

##### **Para el *IGMP Join Latency***

La clave para mejorar los tiempos de respuesta de adquisición de grupos multicast es configurar la red de tal manera que el flujo multicast que contiene el canal de televisión (refiriéndose al ruteador multicast que ya tiene el canal solicitado disponible y que esté listo para proporcionarlo cuando se le sea demandado) sea colocado lo más cercano posible a los subscriptores [31]. En la práctica, por supuesto, no se situará todo el tráfico multicast más allá del FHR, porque además se requiere evitar el desperdicio de ancho de banda en canales que raramente se ven. Por otro lado si, el ancho de banda de la red no es cuestión de preocupación, ubicando los flujos multicast a lo largo de toda la red hasta el DSLAM es una gran manera de mejorar el *IGMP Join Latency*.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el LHR puede dar servicio a miles de hogares, consecuentemente, cuando un usuario se une a un canal desde el STB, las probabilidades de que uno o más de los miles de usuarios del vecindario puedan estar viendo el mismo canal son grandes, y la petición de adquisición sólo tiene que viajar hasta el FHR (o el DSLAM o *Home Gateway*, dependiendo de donde esté el flujo multicast disponible).

El comportamiento de una población de subscriptores puede modelarse estadísticamente para determinar la probabilidad de que al menos un usuario esté viendo un canal determinado. Si la probabilidad de que al menos un usuario se encuentre observando cada canal de televisión es alta, entonces la cantidad de ancho de banda ahorrada es estadísticamente insignificante. Los factores considerados en el análisis estadístico son los siguientes:

- El número de subscriptores total al servicio IPTV
- El número total de canales
- La popularidad que tiene cada canal

La popularidad de un canal es igual a la probabilidad de que un usuario esté viendo ese canal. Esta probabilidad disminuye al aumentar el número de canales del sistema. (Figura 4.2).

Además de las soluciones ilustradas anteriormente, es importante recordar que para una red que de servicios de IPTV, una implementación de una fuerte calidad de servicio QoS es substancial. No sólo esto ayudará a asegurar una buena calidad en la entrega de audio y video, sino que también ayudará a minimizar el tiempo de cambio de canal al permitir que las peticiones de adquisición y abandono “tomen el camino *express*”.

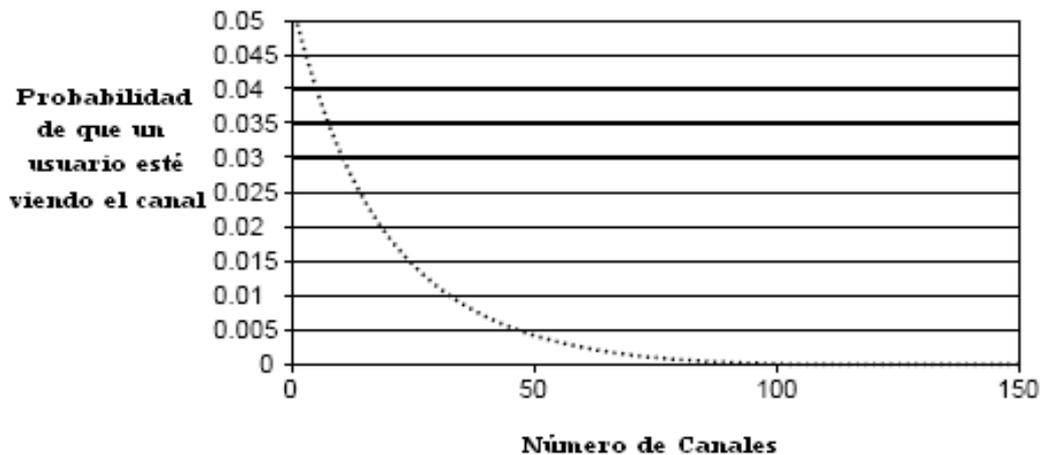


Figura 4.2 Popularidad de un Canal [30]

## 4.2 Optimización del Retardo en el Cambio de Canal Utilizando el Método de Grupos Adyacentes

### 4.2.1 Concepto

El concepto del método de Grupos Adyacentes es el siguiente. Asumiendo que el ancho de banda de la red de acceso, esto es entre el LHR y el *Home Gateway*, es suficientemente grande para aceptar diversos tráficos multicast simultáneamente; cuando el STB solicita la adquisición de un nuevo canal mediante el envío de un *IGMP Join Group Message*, el *Home Gateway* no sólo envía el *IGMP Join Group Message* correspondiente al grupo de ese canal sino también para los grupos de los canales adyacentes.

De esta manera, los flujos multicast pertenecientes a los canales adyacentes del canal solicitado previamente por el STB estarán siempre disponibles en el *Home Gateway*. Cuando el STB solicite la adquisición de un canal adyacente, el *Home Gateway* podrá enviar el tráfico multicast respectivo inmediatamente. Reduciendo considerablemente el tiempo en el cambio de canal [1].

### 4.2.2 Tabla de Información de Grupos Multicast del *Home Gateway*

Para la implementación del método, es necesario que el *Home Gateway* soporte el protocolo IGMP y que tenga la habilidad de manejar los mensajes *join* y *leave* tanto para el canal solicitado como para los canales adyacentes a él. Cuando recibe un *Join group message* verifica la dirección multicast del grupo correspondiente al canal y envía un *Join group message* por cada grupo de los canales adyacentes del canal requerido. Es necesario que el *Home Gateway* tenga un registro de los grupos multicast que pertenecen a los canales de televisión.

Tabla 4.1 Tabla de información del *Home Gateway*

Canales Solicitados	Canales Adyacentes	Grupos Multicast
---------------------	--------------------	------------------

La Tabla 4.1 de Información de Grupos Multicast contiene la información requerida por el *Home Gateway* para operar la adquisición y abandono de los grupos multicast correspondientes a los canales de televisión.

La primera columna es para los canales solicitados son aquellos a los que los STB's conectados al *Home Gateway* tienen actual pertenencia, es decir, los canales que actualmente están siendo vistos por los usuarios dentro de la *Home Network*.

Los canales adyacentes, como su nombre lo indica, son los adyacentes de los canales solicitados, estos últimos también son incluidos en segunda columna de la tabla. El número de canales adyacentes está determinado por el ancho de banda de la red de acceso.

Por último, la tercera columna representa las direcciones multicast de los grupos referentes a los canales adyacentes.

La tabla 4.2 muestra un ejemplo de la tabla descrita anteriormente para dos canales adyacentes de cada canal.

Tabla 4.2 Tabla de Grupos Multicast para Dos Canales Adyacentes

Canales Solicitados	Canales Adyacentes	Grupos Multicast
6	5	224.132.12.5
	6	224.132.12.6
	7	224.132.12.7
	8	224.132.12.8
	11	224.132.12.11
12	12	224.132.12.12
	13	224.132.12.13

### 4.2.3 Proceso de Cambio de Canal con el Método de Grupos Adyacentes implementado

Para entender el método se explicará primero el proceso de adquisición de un grupo y después el proceso de abandono; esto se traduce como la situación en la que un usuario comienza a ver la televisión adquiriendo primero un canal y después cambiando a otro.

La figura 4.3 describe los pasos para el proceso de adquisición de un grupo multicast después de recibir un nuevo *IGMP Join Group Message* de un STB. El *Home Gateway* recibe el *join message*, verifica si el grupo multicast respectivo ya se encuentra dentro de los canales solicitados. De ser así, el *Home Gateway* simplemente entrega el contenido al STB; si no, lo agrega a los canales solicitados y procede a mandar los *IGMP Join Group Messages* correspondientes al grupo solicitado y a sus adyacentes, pero primero verifica si estos ya existen en la lista de los canales adyacentes. Los grupos que sí se encuentren dentro del conjunto de los adyacentes serán canales que ya estén disponibles en el *Home Gateway* por lo que no se enviará el *Join Message* para ellos; los que no formen parte de los canales adyacentes, se agregarán a estos y el *Home Gateway* enviará un *IGMP Join Group Message* por cada uno para solicitarlos. Inmediatamente después, el *Home Gateway* retransmitirá el contenido multicast al STB.

La figura 4.4 describe los pasos para el proceso de abandono de un grupo después de recibir un nuevo *IGMP Leave Group Message* de un STB. El *Home Gateway* recibe el *Leave Message*, envía el *Membership Query Message* hacia los STB para verificar si hay algún otro usuario interesado en el canal, si recibe un *Membership Report Message* el proceso termina ahí, si no lo recibe, entonces borra el canal de la lista de canales solicitados. En este momento el *Home Gateway* espera el *Join Message* enviado por el STB para pedir un nuevo canal, por lo que es importante que el valor del *Channel Switch Delay* sea lo más pequeño posible; si no llega el *join message* se asume que el usuario deja de ver la televisión. Entonces si el *Join Message* llega al *Home Gateway* éste primero realiza el proceso de adquisición del canal y posteriormente continua con el proceso de abandono del antiguo canal. En seguida el *Home Gateway* verifica si tanto el canal a desconectar como sus adyacentes son aún requeridos debido a la contigüidad con algún otro canal, si no, los eliminará de la lista y enviará un *Leave group message* por cada grupo para solicitar su desconexión.

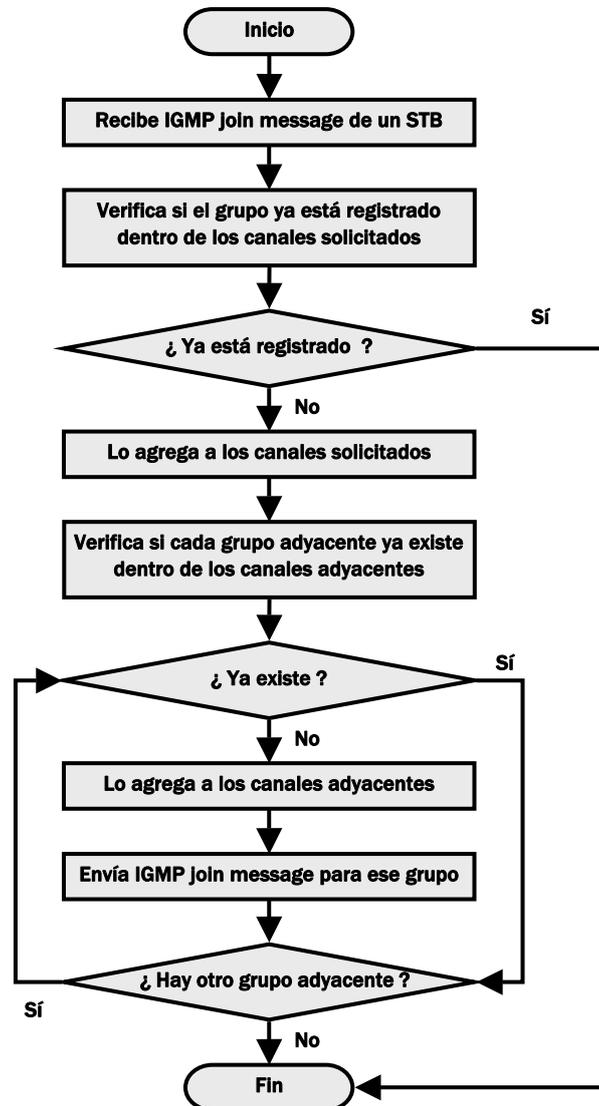


Figura 4.3 Proceso de Adquisición de Grupo en el *Home Gateway*

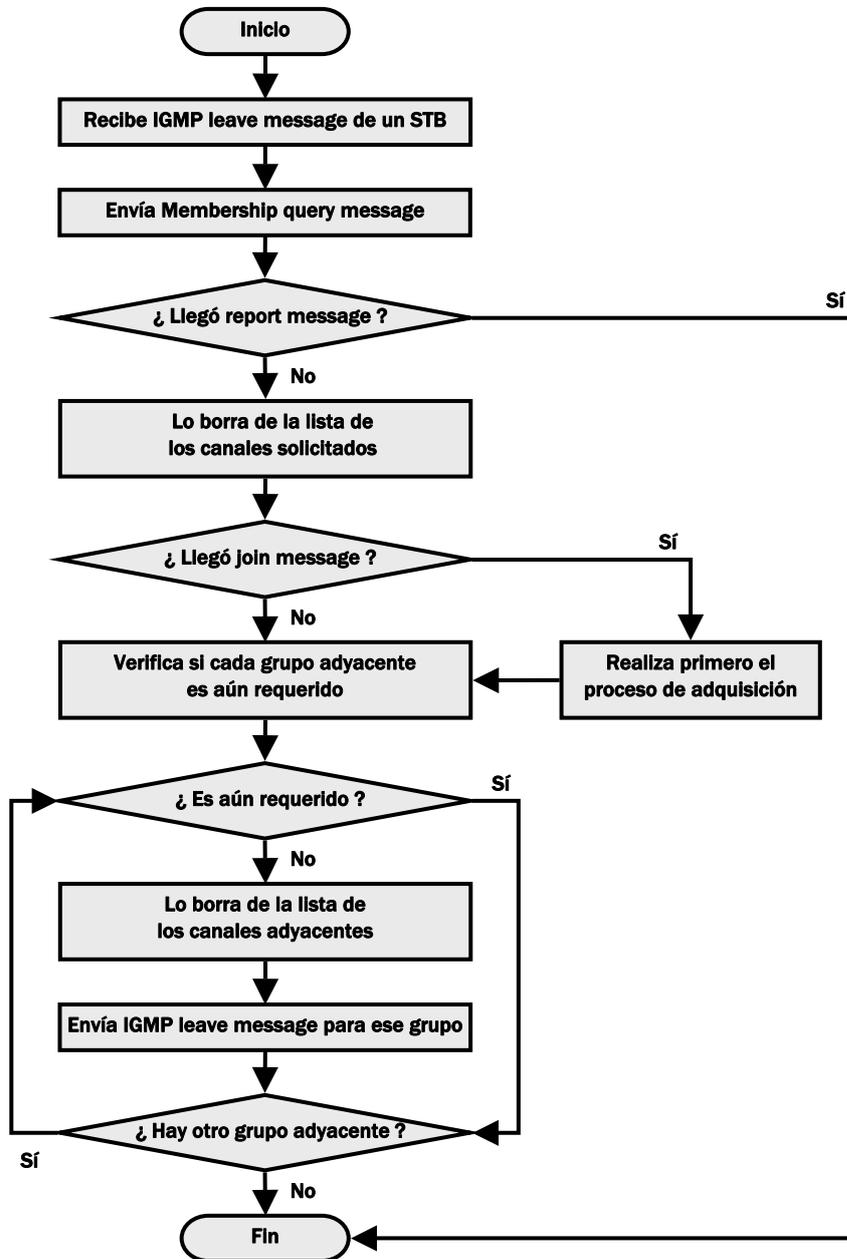


Figura 4.4 Proceso de Abandono de Grupo en el *Home Gateway*

## 5. Modelado y Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes

### 5.1 Características del Modelo Propuesto

El diagrama de la figura 5.1 ilustra el modelo usado para simular el sistema IPTV a analizar. Éste consiste en la cabecera del sistema o *Headend*, un ruteador FHR, un ruteador LHR, un DSLAM, un *Home Gateway* y tres STB's o usuarios finales. Estos elementos en conjunto representan sólo una sección de un sistema para IPTV que da servicio a una gran cantidad de suscriptores.

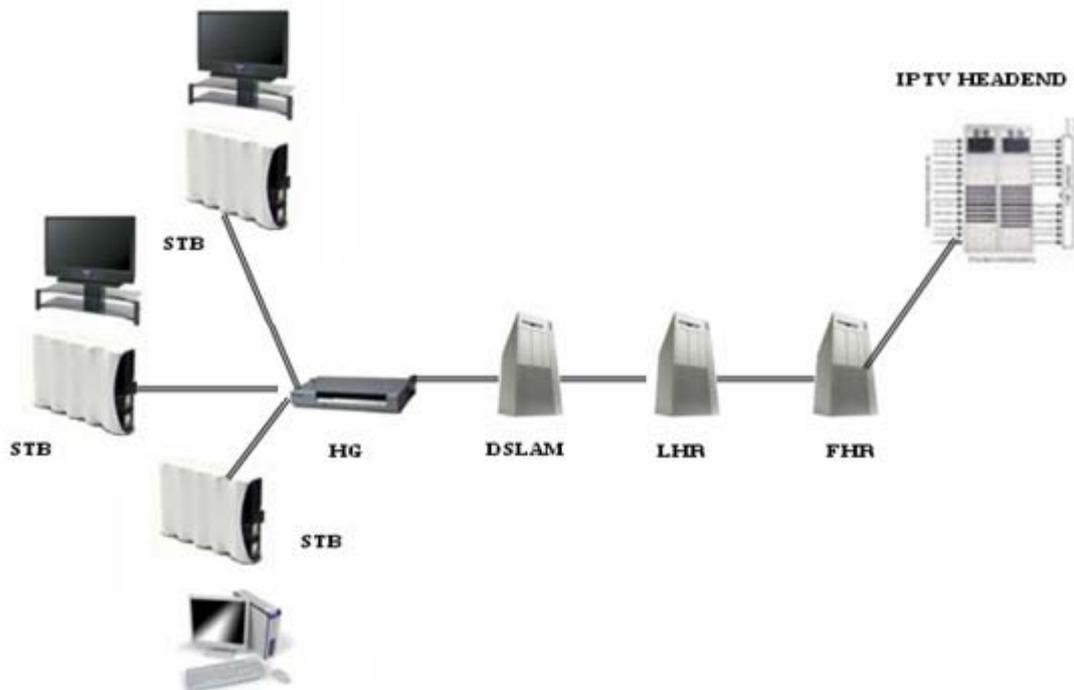


Figura 5.1 Diagrama del Diseño del Sistema IPTV a Simular

El *Home Gateway* contiene el flujo de cada STB que esté conectado a él, así como el DSLAM el flujo de todos los *Home Gateway's* y el LHR el flujo de todos los DSALM's. Hay que recordar que el FHR contiene el flujo de todos los canales del sistema IPTV.

Cuando un STB cambie de canal se medirá el tiempo de adquisición de canal (*Join Latency*) de acuerdo a la disponibilidad del canal deseado en los ruteadores; es decir, si el canal solicitado se encuentra disponible en el *Home Gateway* el tiempo de adquisición será de 50 ms; si el *Join Message* tiene que viajar hasta el DSLAM el tiempo será de 150 ms y si es hasta el LHR o FHR será de 500 ms o 600 ms respectivamente.<sup>1</sup>

El método de Grupos Adyacentes fue aplicado con dos canales adyacentes, es decir, el canal inferior y el superior al solicitado, y se analizó su influencia en el tiempo de cambio de canal que experimentan los usuarios finales.

## 5.2 Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes para Casos Prácticos

Para la simulación de la implementación del método se tomó en cuenta que se realizan diez cambios de canal entre los tres STB's del sistema. Se eligió un STB al azar para cada cambio. Los cambios de canal se efectuaron de dos formas distintas, cambios hacia canales aleatorios y cambios hacia canales adyacentes.

Se analizaron cuatro escenarios diferentes:

1º Escenario: Metodología de cambio tradicional con cambios hacia canales adyacentes.

2º Escenario: Metodología de cambio optimizada con cambios hacia canales adyacentes.

3º Escenario: Metodología de cambio tradicional con cambio hacia canales aleatorios.

4º Escenario: Metodología de cambio optimizada con cambio hacia canales aleatorios.

Para representar la cantidad total de suscriptores del sistema IPTV se añadieron usuarios de más al DSLAM, mismos que se cargaron al LHR más un flujo del 75% total de los canales en el LHR para mantener una configuración PIM-SM.

Sobre cada escenario se hicieron variar tanto el número de usuarios como el de canales para analizar la influencia de éstos en el tiempo de cambio de canal.

---

<sup>1</sup> Es importante hacer mención que estos tiempos son asignados de acuerdo a los tiempos obtenidos de las referencias [29] y [30] y que pueden variar de acuerdo a la distancia que hay entre los ruteadores y del diseño de los mismos por parte de los proveedores. Los tiempos manejados en esta tesis son únicamente para fines ilustrativos.

### 5.3 Resultados

Los resultados se presentan como el promedio de los diez cambios de canal para diez iteraciones del programa.

Las figura 5.2 ilustra los resultados obtenidos para los escenarios 1 y 2; esto es, cambio de canal hacia canales adyacentes tanto para la metodología tradicional como para la metodología optimizada. Tomando en cuenta 100 canales y 50 usuarios.

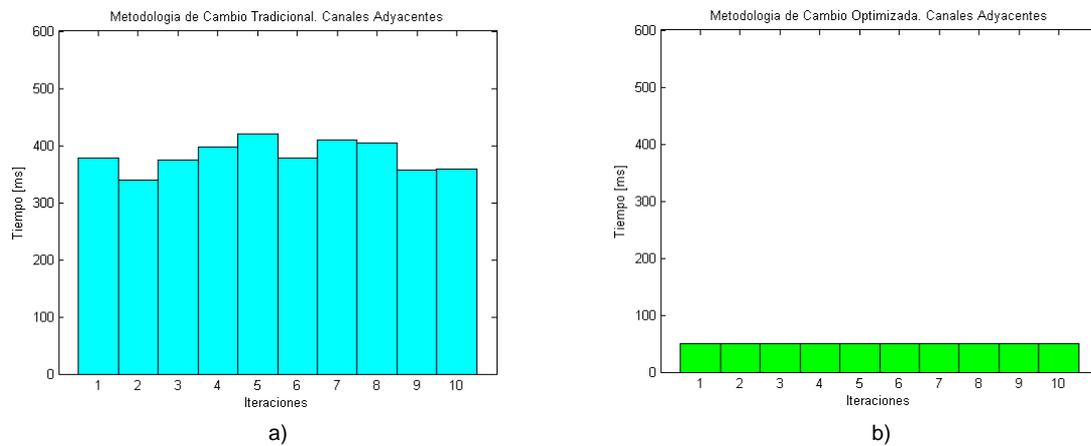


Figura 5.2 Resultados para 100 canales y 50 usuarios; a) 1° Escenario, b) 2° Escenario

Las figura 5.3 ilustra los resultados para los escenarios 3 y 4; cambios de canal aleatorios para la metodología tradicional y la optimizada, para los mismos 100 canales y 50 usuarios.

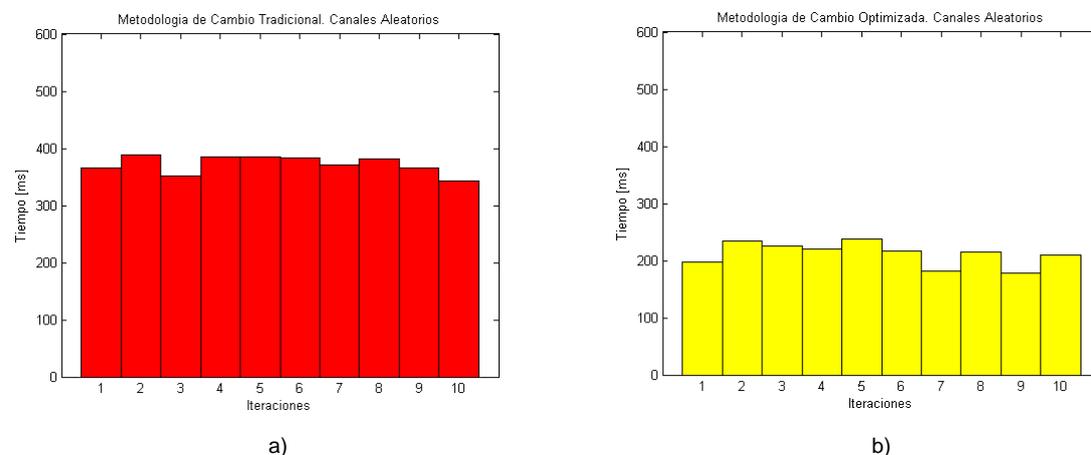


Figura 5.3 Resultados para 100 canales y 50 usuarios; a) 3° Escenario, b) 4° Escenario

## 5. Modelado y Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes

Las cuatro gráficas anteriores se muestran a continuación en la figura 5.4 pero ahora aumentando el número de canales a 200.

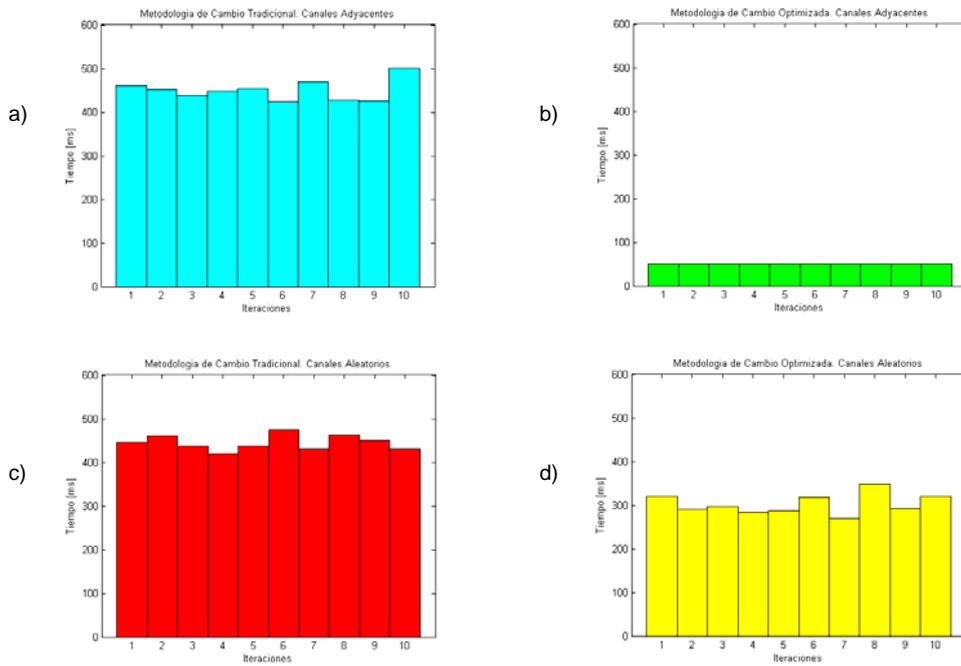


Figura 5.4 Resultados para 200 canales y 50 usuarios; a) 1° Escenario, b) 2° Escenario, c) 3° Escenario, d) 4° Escenario

La figura 5.5, muestran la situación anterior disminuyendo a 50 los canales.

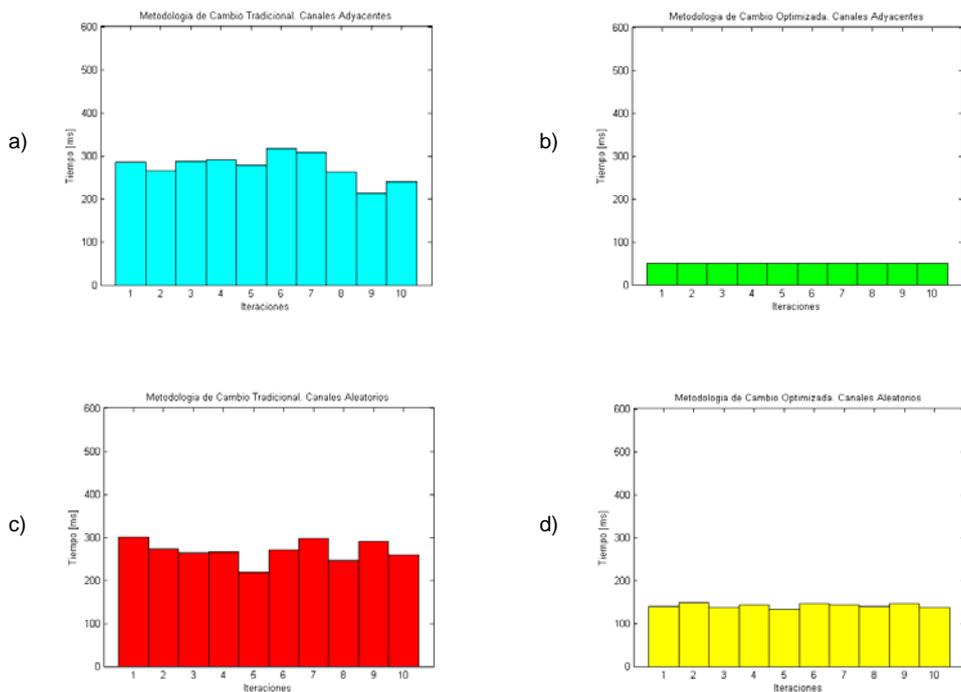


Figura 5.5 Resultados para 50 canales y 50 usuarios; a) 1° Escenario, b) 2° Escenario, c) 3° Escenario, d) 4° Escenario

## 5. Modelado y Simulación de la Implementación del Método de Grupos Adyacentes

Los resultados obtenidos para los cuatro escenarios considerando 100 canales y aumentando los usuarios a 100, se muestran en la figura 5.6.

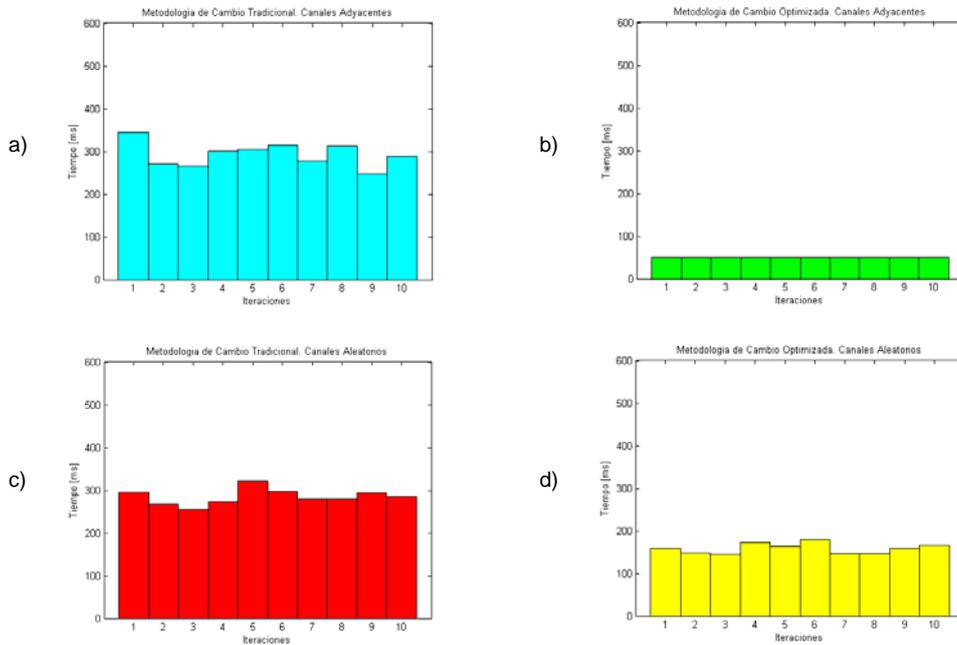


Figura 5.6 Resultados para 100 canales y 100 usuarios; a) 1° Escenario, b) 2° Escenario, c) 3° Escenario, d) 4° Escenario

Al disminuir a 25 los usuarios se obtiene la figura 5.7.

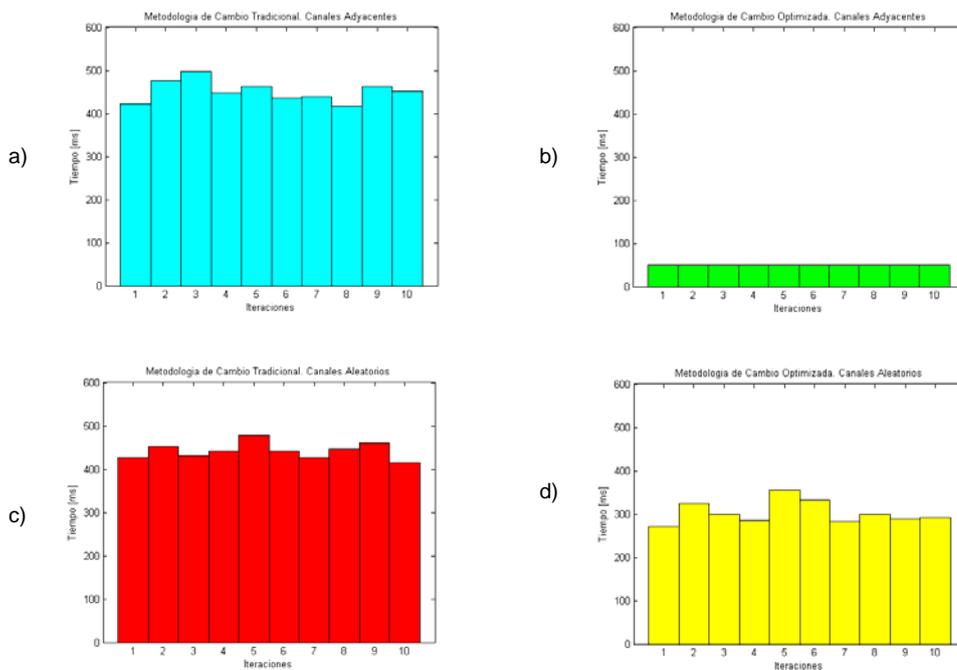


Figura 5.7 Resultados para 100 canales y 25 usuarios; a) 1° Escenario, b) 2° Escenario, c) 3° Escenario, d) 4° Escenario

La figura 5.8 muestra las curvas para 25, 50 y 100 usuarios haciendo un barrido de canales bajo las condiciones de los escenarios 1 y 2. La diferencia entre los resultados obtenidos por ambas metodologías también se ilustra.

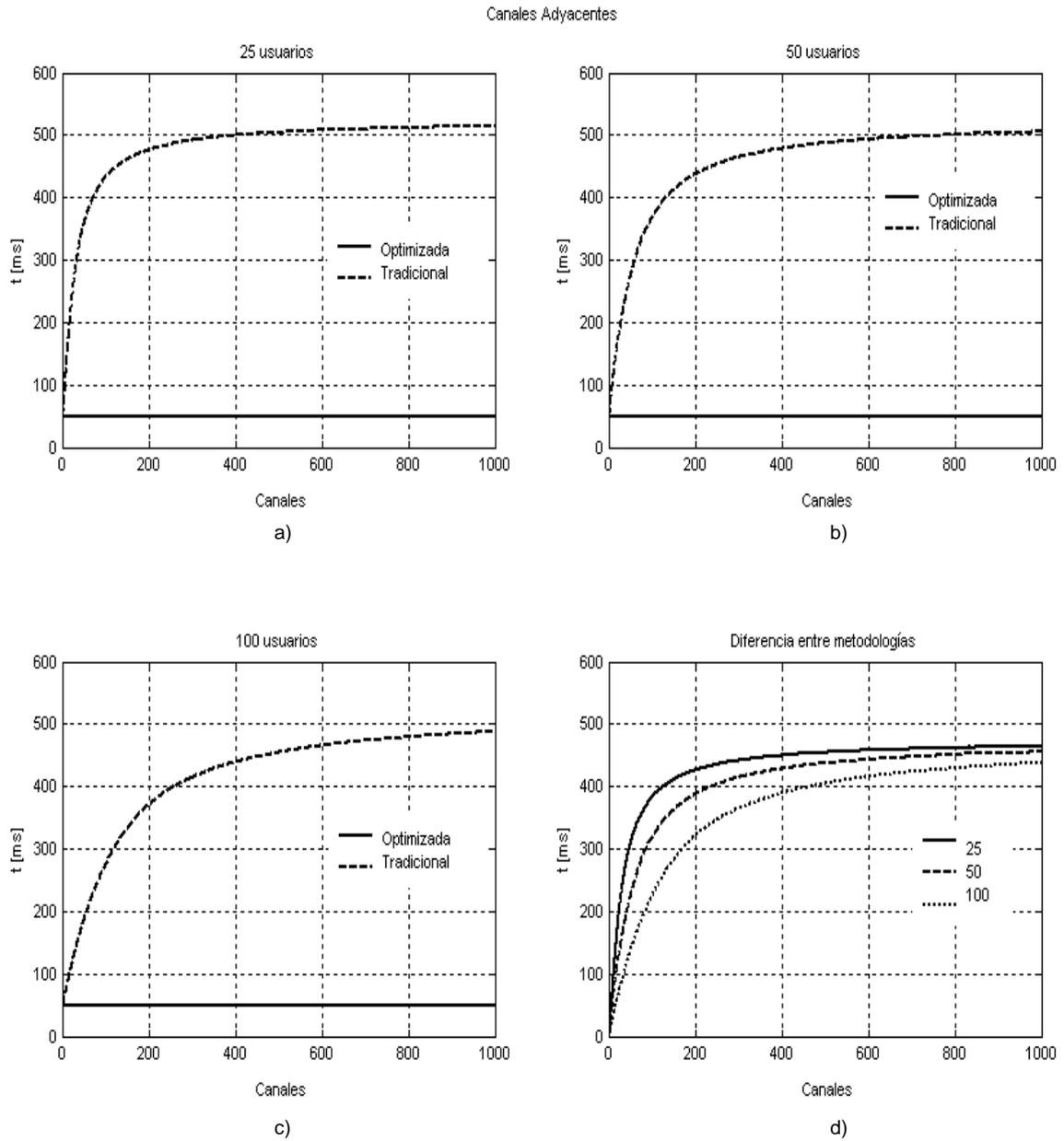


Figura 5.8 Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales adyacentes. a) 25 usuarios, b) 50 usuarios, c) 100 usuarios, d) Diferencia entre ambas metodologías

La figura 5.9 muestra las curvas para 25, 50 y 100 usuarios haciendo un barrido de canales ahora para los escenarios 3 y 4. La diferencia entre los resultados obtenidos por ambas metodologías también se ilustra.

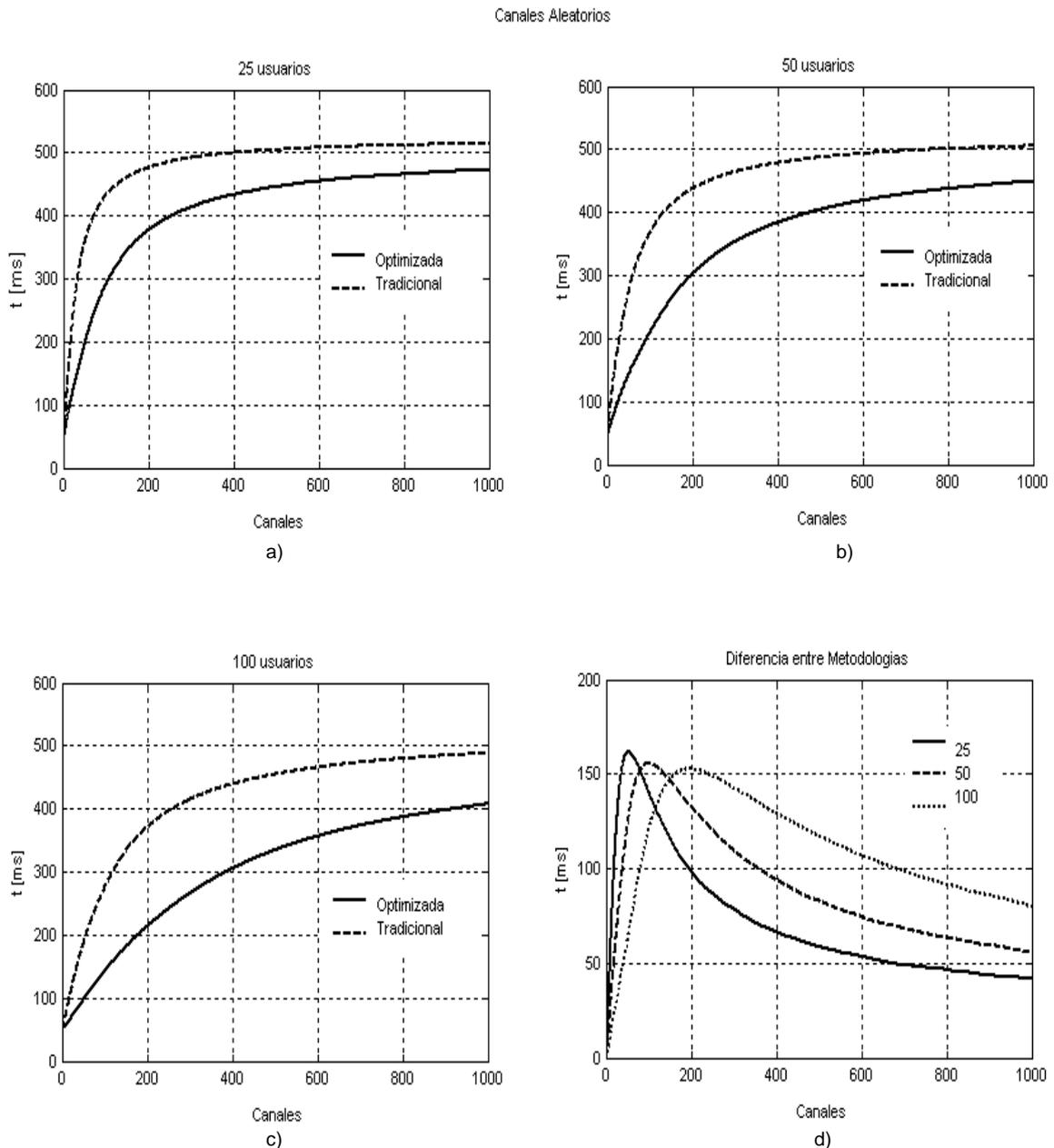


Figura 5.9 Resultados obtenidos al variar el número de canales para cambios a canales aleatorios. a) 25 usuarios, b) 50 usuarios, c) 100 usuarios, d) Diferencia entre ambas metodologías

La figura 5.10 muestra las curvas para 50, 100 y 200 canales haciendo un barrido del número de usuarios bajo las condiciones de los escenarios 1 y 2. La diferencia entre los resultados obtenidos por ambas metodologías también se ilustra.

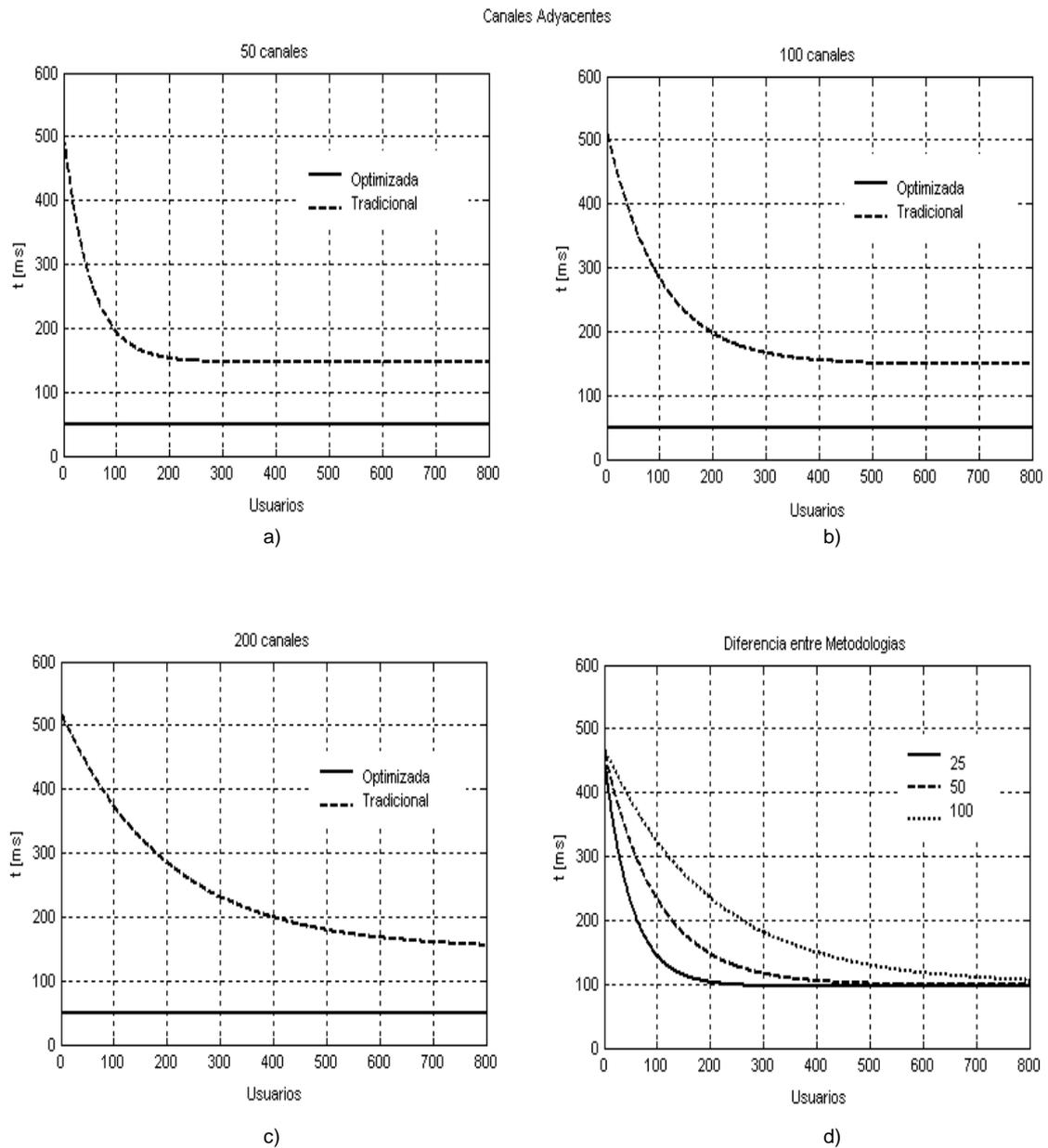


Figura 5.10 Resultados obtenidos al variar el número de usuarios para cambios a canales adyacentes. a) 50 canales, b) 100 canales, c) 200 canales, d) Diferencia entre ambas metodologías

La figura 5.11 muestra las curvas para 50, 100 y 200 canales haciendo un barrido del número de usuarios ahora para los escenarios 3 y 4. La diferencia entre los resultados obtenidos por ambas metodologías también se ilustra.

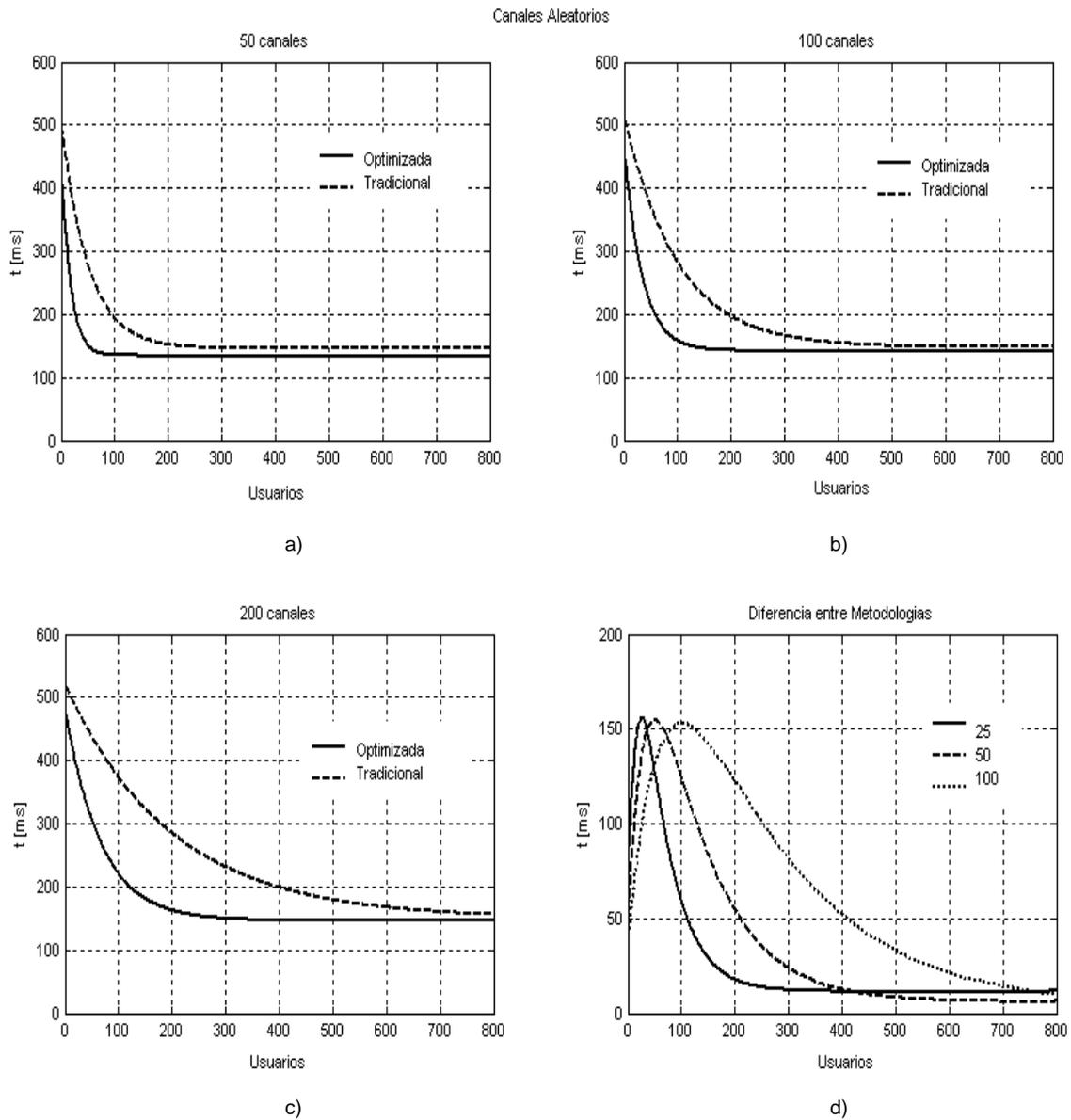


Figura 5.11 Resultados obtenidos al variar el número de usuarios para cambios a canales aleatorios. a) 50 canales, b) 100 canales, c) 200 canales, d) Diferencia entre ambas metodologías

#### 5.4 Análisis de Resultados

De la figura 5.2 se observa que, al aplicar el método de Grupos Adyacentes, existe una reducción considerable del tiempo de adquisición de canal cuando el usuario cambia a canales adyacentes. Con el método tradicional se obtiene un promedio de las 10 iteraciones de alrededor de 380 ms. El tiempo de retardo con el método optimizado se mantiene constante y con un valor de 50 ms debido a que los canales que son solicitados por los STB's están siempre disponibles dentro del *Home Gateway*; por lo tanto el STB adquirirá el canal de forma instantánea. La reducción que se alcanzó con el método optimizado fue de 330 ms aproximadamente.

Por otro lado, en la figura 5.3 cuando los usuarios cambian a canales aleatorios, se observa que el retardo se mantiene en un promedio de 380 ms; esta vez, con el método implementado, se obtiene un retardo con un valor promedio aproximado de 200 ms, logrando una reducción del tiempo de adquisición cerca de 180 ms. Esta reducción del tiempo no es tan amplia como cuando se cambia a canales adyacentes debido a que, con la disponibilidad de los canales adyacentes en el *Home Gateway*, DSLAM o LHR, los canales solicitados pueden o no estar disponibles en estos ruteadores.

Cuando aumentamos el número de canales se aprecia en la figura 5.4 un aumento del retardo debido a que es menos probable que el canal deseado esté siendo visto por algún otro usuario, por lo que el canal requerido se encontrará disponible más lejos del usuario que solicita el canal. Para el método tradicional con cambios a canales tanto adyacentes como aleatorios se obtiene un valor promedio aproximado de 450 ms. Para el método optimizado con canales adyacentes nuevamente se logra un tiempo de 50 ms para cada iteración, para canales aleatorios un valor cercano a 300 ms. En este caso se consiguió una optimización del tiempo que fue de 400 ms y 150 ms para canales adyacentes y aleatorios respectivamente.

Por el contrario, el retardo disminuye si disminuimos el número de canales como se observa en la figura 5.5, ya que es más probable que el canal deseado esté siendo visto por algún otro usuario, por lo que el canal requerido se encontrará disponible más cerca del usuario que solicita el canal. Para este caso, con el método tradicional se obtuvo un valor del retardo alrededor de 280 ms para canales adyacentes y aleatorios. Con el método de optimización se logró un valor nuevamente de 50 ms para canales adyacentes y para canales aleatorios de 150 ms aproximadamente. Con lo anterior se deduce una reducción del tiempo de adquisición, al implementar el método de Grupos Adyacentes, de 230 para canales adyacentes y 130 para canales aleatorios.

Ahora bien, si en vez de variar el número de canales variamos el número de usuarios, al aumentar éstos se tiene una disminución del tiempo de retardo como se ve en la figura 5.6 debido a que será más factible que el canal deseado ya esté siendo visto por algún otro usuario del sistema por lo que el canal se hallará disponible más cerca del STB que hace la petición de adquisición. Tal y como se aprecia en la figura 5.6, con el método tradicional se obtienen valores

aproximados a 300 ms con canales adyacentes y aleatorios. Con el método de optimización, se logran tiempos de 50 ms para canales adyacentes y cerca de 170 ms para canales aleatorios. Bajo estas circunstancias, se consiguieron ahorros en el tiempo de adquisición de 250 ms y 130 ms para canales adyacentes y para canales aleatorios respectivamente.

Como es observado en la figura 5.7 el retardo ahora aumenta si disminuimos el número de usuarios, ya que es menos probable que el canal requerido se halle más cerca del STB que lo demanda. Aquí, con el método tradicional se obtuvieron retardos de al menos 430 ms para canales adyacentes y aleatorios; y con el método optimizado de 50 ms y 320 ms para canales adyacentes y aleatorios respectivamente. Se consiguieron tiempos de reducción de 380 ms para canales adyacentes y 110 ms para canales aleatorios.

La tabla 5.1 resume los valores de retardo obtenidos para los distintos escenarios, así como el tiempo de reducción conseguido con el método de Grupos Adyacentes.

Tabla 5.1 Resultados de la Simulación de los 4 escenarios

<b>Usuarios</b>	<b>Canales</b>	<b>Canales</b>	<b>Retardo con Método Tradicional [ms]</b>	<b>Retardo con Método Optimizado [ms]</b>	<b>Reducción [ms]</b>
50	100	Adyacentes	380	50	330
		Aleatorios	380	200	180
50	200	Adyacentes	450	50	400
		Aleatorios	450	300	150
50	50	Adyacentes	280	50	230
		Aleatorios	280	150	130
100	100	Adyacentes	300	50	250
		Aleatorios	300	170	130
25	100	Adyacentes	430	50	380
		Aleatorios	430	320	110

Para analizar mejor cómo varía el tiempo de adquisición de canal respecto al número de canales y al número de usuarios con las dos metodologías de cambio de canal, se realizaron las gráficas de las figuras 5.8-5.11 cuando los usuarios cambian a canales adyacentes y a canales aleatorios.

En la figura 5.8, para canales adyacentes, se aprecia que al aumentar el número de canales el retardo aumenta desde 50 ms hasta un valor cercano a los 500

$ms^2$ , disminuyendo al aumentar el número de usuarios para la metodología de cambio tradicional. Para la metodología de cambio optimizada el retardo se mantiene constante en 50 ms. Para analizar el comportamiento de la reducción del tiempo de adquisición de canal empleando el método de optimización se obtuvo la curva de la diferencia entre los resultados adquiridos con el método tradicional y los adquiridos con el método optimizado tanto para 25, 50 y 100 usuarios; en esta última gráfica se puede apreciar qué tanto beneficio otorga el método de Grupos Adyacentes, el cual se incrementa conforme aumenta el número de canales y conforme disminuye el número de usuarios.

En la figura 5.9, para canales aleatorios, se observa también que el retardo aumenta al aumentar los canales. Al aplicar el método de Grupos Adyacentes se observa una pequeña reducción del retardo. Se ilustra la diferencia entre los métodos tradicional y optimizado, en donde se puede apreciar el ahorro de tiempo que se adquiere con el método de Grupos Adyacentes con respecto al método tradicional de cambio de canal. Aquí el máximo beneficio no se logra conforme al aumento del número de canales sino aproximadamente en el punto en el que el número de canales es igual al doble del número de usuarios cuyo valor es cercano a 150 ms. Esto es porque con pocos canales se obtiene gran disponibilidad en el DSLAM tanto para el método tradicional como para el optimizado, conforme aumentan los canales la disponibilidad disminuye para los dos métodos pero más con el método tradicional, de ahí que la curva aumenta hasta llegar al máximo beneficio; a partir de este punto la gráfica decrece debido a que la disponibilidad de canales disminuye ahora más con el método de Grupos Adyacentes.

Observamos en la figura 5.10, para canales adyacentes, que al aumentar el número de usuarios el retardo disminuye desde  $500 ms^2$  hasta llegar al valor de  $150 ms^3$  tanto para 50, 100 y 200 canales para la metodología de cambio tradicional. Para la metodología de cambio optimizada el retardo se mantiene nuevamente constante en 50. En la curva que muestra la diferencia entre los resultados obtenidos por los dos métodos se observa el beneficio logrado al aplicar el método de Grupos Adyacentes, el cual decrece conforme aumenta el número de usuarios y conforme disminuye el número de canales.

Cuando los usuarios cambian a canales aleatorios se puede ver en la figura 5.11 cómo el retardo disminuye al aumentar el número de usuarios. Cuando el método de optimización es aplicado se tiene una pequeña reducción del tiempo de adquisición. Se observa nuevamente que el máximo beneficio del método de Grupos Adyacentes, cuyo valor es cercano a 150 ms, se obtiene cuando el número de usuarios es la mitad al número de canales, debido a los hechos explicados anteriormente.

---

<sup>2</sup> Hay que recordar que estos valores se constituyen mediante el promedio de las 10 iteraciones hechas al programa.

<sup>3</sup> A este valor tiende el retardo al aumentar los usuarios debido a que el incremento lo hacemos directamente en el DSLAM.

## Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones en base a los objetivos planteados de nuestro trabajo de tesis.

1. El desarrollo actual de *Triple Play* conlleva a una solución única para varios servicios de telecomunicaciones sobre el mismo medio físico: el servicio telefónico, televisión e Internet. La convergencia de estos servicios dará como resultado la necesidad de tener únicamente un flujo de datos hacia los hogares, propiciando diversas ventajas para los usuarios, entre ellas, el abaratamiento de los costos de estos servicios.
2. El servicio *Triple Play* está enfocado más a un modelo de negocios que a una técnica de solución integral o a un estándar de comunicaciones. Los retos en ofrecer *Triple Play* están principalmente asociados en determinar el modelo de mercado correcto con lo cual los operadores de telecomunicaciones competirán entre sí para satisfacer todas las necesidades de sus clientes. Disponer de contenidos exclusivos, telefonía, Internet de banda ancha, televisión, juegos en línea, video sobre demanda, videoconferencias, monitoreo de viviendas, entre otros, harán la diferencia para captar más clientes y obtener mejor facturación.
3. IPTV surge como una necesidad de los operadores de telecomunicaciones de hacer frente a la convergencia de servicios ya ofrecidos en las redes de cable. IPTV no es más que el resultado de un incremento en el ancho de banda en las redes de dichos operadores logrando que sean capaces de transmitir grandes cantidades de información y ofrecer diversos servicios como interactividad, mayor cantidad de contenidos, comodidad en la visualización, etc.; obteniendo gran ventaja sobre los operadores de cable y consiguiendo mayor aceptación por parte de los usuarios.
4. IPTV será un servicio clave para ofrecer *Triple Play*. Para lograr una total aprobación de IPTV sobre la televisión por cable por parte de los usuarios es necesario conservar un tiempo de cambio de canal aceptable.
5. En esta tesis presentamos el método de Grupos Adyacentes para la optimización del cambio de canal mediante la reducción del tiempo de adquisición de canal del sistema IPTV propuesto.
6. Del análisis de los resultados obtenidos de la programación en MATLAB de la implementación del método de Grupos Adyacentes concluimos lo siguiente:

- Cuando se cambia a canales tanto adyacentes como aleatorios con el método tradicional, si el número de canales aumenta el tiempo de adquisición de un nuevo canal también aumentará; ahora bien, si el número de usuarios aumenta el tiempo de adquisición esta vez disminuirá.
- Al implementar el método de Grupos Adyacentes se obtiene una mejora considerable del retardo si se cambia a canales adyacentes; el retardo tendrá un valor constante igual al tiempo entre la transmisión del *Join group message* y la recepción del primer paquete del grupo multicast correspondiente al nuevo canal enviado directamente del *Home Gateway*, por lo que el tiempo de adquisición será casi inmediato sin importar el número de canales o el de usuarios.
- En el caso de cambios a canales aleatorios, al implementar el método de optimización, se logra una reducción del tiempo de adquisición que, si bien no es constante, se consigue la máxima optimización de este tiempo cuando el número de canales es igual al doble del número de usuarios; fuera de estos valores el método no ayudaría mucho en la reducción del tiempo de cambio a canales aleatorios.
- El método sólo servirá si el ancho de banda de la red de acceso es suficientemente grande para soportar diversos flujos multicast, de lo contrario simplemente el método sólo afectaría a la calidad de experiencia del usuario en vez de beneficiarla.
- Para un buen diseño del sistema con un número determinado de usuarios y de canales hay que considerar la robustez de los ruteadores multicast, es decir, procurar que no se desperdicie capacidad del equipo o bien, que el precio total por los DSLAM's instalados no sea muy elevado. Además de ahorrar el ancho de banda lo más que se pueda.
- El método de Grupos Adyacentes es un buen método para reducir el tiempo de adquisición, el cual involucra una parte del tiempo de cambio de canal. No obstante, optimizar los tiempos de retardo de la red no es suficiente sobre todo porque el mayor porcentaje del tiempo de cambio de canal concierne al proceso de decodificación y al diseño e implementación del STB. Estos aspectos merecen consideraciones especiales y, probablemente, mejores diseños.
- Adicionalmente se propone como trabajos a futuro el análisis estadístico para la obtención del ancho de banda utilizado por la red de acuerdo a la popularidad de cada canal, al número total de canales y al número total de suscriptores. También se propone la obtención de los tiempos reales del retardo mediante la simulación del sistema en un software de redes o con una maqueta del modelo para recabar los tiempos de acuerdo a la utilización del sistema y a la distancia entre los ruteadores multicast.

---

## Referencias

- [1] Chunglae Cho, Intak Han, Yongil Jun and Hyeongho Lee. *“Improvement of Channel Zapping Time in IPTV Services Using the Adjacent Groups Join-Leave Method”*. Network Technology Laboratory, ETRI 2006
- [2] FFC. Federal Communications Commission. *“DTV: Lo que cada consumidor debe saber”* Washington, DC Febrero 2006
- [3] Ing. Marcial López Tafur. *“Introducción a la Tecnología Digital en Video”* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú 2006
- [4] Ing. José Simonetta. *“Televisión Digital: Múltiples aplicaciones de su tecnología”* Buenos Aires Argentina 2006
- [5] International Engineering Consortium. *“Broadband Loop Carrier: Enabling Video in a Triple-Play Architecture”* 2005
- [6] Alejandro Navarrete. *“La Convergencia en las Redes de Telecomunicaciones por Cable”*. CINIT (Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones, A.C. 2006
- [7] Reuters. Terra USA. *“México aprueba integración telefonía, TV e Internet”*. Octubre de 2006
- [8] Teresa Martínez. *“Triple Play. Beneficios directos para consumidores”*. Revista Vértigo. Octubre 2006.
- [9] Lic. Héctor Huerta. *“México en la convergencia, ¿Por fin?”*, CANITEC Mayo, 2006.
- [10] Press Release. *“Multimedios ofrecerá Triple Play con infraestructura de Cisco Systems”*. Newswire Agosto, 2006.
- [11] Hugo González. *“TV, Teléfono e Internet, Retos del Triple-play”*. Milenio Semanal, Negocios, Junio 2006
- [12] Javier Matuk. *“Convergencia”*. Boletín de la coordinación de Bibliotecas, UNAM. Vol. VII, No. 32, Agosto 2006.
- [13] Leonardo Ramos. *“Convergencia de Redes. Rol de la Televisión Digital”*. Regulatel. Guatemala, 2006

- 
- [14] Artículo IEEE: “*NGN Architecture for IPTV Service without Effect on Conversational Services*”. Feb 2006.
  - [15] Irazú Muñiz. “*Televisión IP: Una Experiencia Totalmente Personalizada*” CINIT (Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones, A.C.) Julio 2005.
  - [16] *CCNA INTRO Exam Certification Guide*. Cisco Systems 2006
  - [17] Bill Fenner, Mark Handley, Hugh Holbrook, Isidor Kouvelas. “*RFC 2362: Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification*”. IETF, Oct. 2003
  - [18] W. Fenner, “*RFC 2236: Internet Group Management Protocol, Version 2*”, IETF, Nov. 1997
  - [19] Siemens Communications and Juniper Networks, “*High Quality and Resilient IPTV Multicast Architecture*” 2006
  - [20] Abadía Digital. “*Todo sobre ADSL2+*”. Junio 2006
  - [21] Recomendación ITU G992.1 y G992.2
  - [22] Recomendación ITU G992.3 y G992.4
  - [23] Recomendación ITU G992.5
  - [24] ADSL Forum. “*ADSL2 and ADSL2+ - The New ADSL Standards*”. Marzo 2003
  - [25] Broadbandtrends.com Junio 2006
  - [26] Recomendación ITU G993.1
  - [27] Recomendación ITU G993.2
  - [28] Jason J. Bourgeois. “*FTTx in the U.S.: Can we see the light?*” Noviembre 2005
  - [29] FS-VDSL Specification Part 2 System Architecture, Full Service-VDSL Committee. Jun. 2002
  - [30] *Cisco Wireline Video/IPTV Solution Design and Implementation Guide, Release 1.1*. Cisco Systems. 2006
  - [31] *Managing Delay in IP Video Networks Version 1.0*. Cisco Systems. 2006

---

## Apéndices

### Apéndice A. Lista de Acrónimos

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AON	Active Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATSC	Advanced Television System Comitee
AVC	Advanced Video Coding
BC	Broadcast Client
CANITEC	Cámara Nacional de la Industria de Televisión por Cable
CAS	Conditional Access System
CCIR	Consultative Committee for International Radiocomunications
CDMA	Code Division Multiple Access
DRM	Digital Rights Management
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTH	Direct To Home
DTV	Digital Television
DVB	Digital Video Broadcasting
EDTV	Extended Definition Television
EPG	Electronic Programming Guide
FCC	Federal Communications Comission
FHR	First Hop Router
FTTB	Fiber to the Business
FTTC	Fiber to the Curb
FTTH	Fiber to the Home
FTTN	Fiber to the Node
FTTP	Fiber to the Premises
GOP	Group Of Pictures
GPRS	General Packet Ratio Service
GSM	Global Systems for Mobile Communications
HDTV	High Definition Television
HFC	Hybrid Fiber/Coax
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Televisión
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ISP	Internet Service Provider
LHR	Last Hop Router
LNB	Low Noise Block

---

Mbps	Mega bits per second
MHP	Main Home Platform
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NGN	Next Generation Network
OSPF	Open Shortest Path First
PIM-DM	Protocol Independent Multicast-Dense Mode
PIM-SM	Protocol Independent Multicast-Sparse Mode
PON	Passive Optical Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVR	Personal Video Recording
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
RIP	Routing Information Protocol
RT	Remot Terminal
SDI	Serial Digital Interface
SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frecuency Network
STB	Set Top Box
TDT	Televisión Digital Terrestre
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frecuency
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Services
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VHF	Very High Frecuency
VoD	Video over Demand
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Interoperability for Microwave Access
WMV	Windows Media Video

## Apéndice B. Código Fuente en Matlab

```

%Escenario 1 y 3

%Metodologia de cambio: Tradicional

clear all;
clc;

nSTB=3;
fix(clock)

for(n=1:1000)

    dslam=25;

    for (x=1:10)                                %10 iteraciones

        STB=unidrnd(n,1,nSTB);                %Asignacion de un canal a cada STB
        HG=STB;                                %Creacion del Home Gateway
        d=unidrnd(n,1,dslam);
        DSLAM=[HG d];                          %Creacion del DSLAM
        l=unidrnd(n,1,floor(1.4*n));           %75% de canales
        LHR=[DSLAM l];                        %Creacion del LHR

        for(k=1:nSTB)                          %Tabla del Home Gateway
            a(k,:)=[STB(k)-1 STB(k) STB(k)+1];
        end
        b=a';
        [row,col]=size(b);
        for(k=1:(row*col))
            HG_op(k)=b(k);
        end
        for(t=1:length(HG_op))
            if(HG_op(t)==0)
                HG_op(t)=n;
            elseif(HG_op(t)==(n+1))
                HG_op(t)=1;
            end
        end
        end

        for(k=1:length(d))                      %Canales adyacentes en el DSLAM
            c(k,:)=[d(k)-1 d(k) d(k)+1];
        end

        e=c';
        [row,col]=size(e);

        for(k=1:(row*col))
            d_op(k)=e(k);
        end

        for(t=1:length(d_op))
            if(d_op(t)==0)
                d_op(t)=n;
            elseif(d_op(t)==(n+1))
                d_op(t)=1;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end

    for(k=1:length(l))                %Canales adyacentes en el LHR
        f(k,:)=[l(k)-1 l(k) l(k)+1];
    end

    g=f';
    [row,col]=size(g);

    for(k=1:(row*col))
        l_op(k)=g(k);
    end

    for(t=1:length(l_op))
        if(l_op(t)==0)
            l_op(t)=n;
        elseif(l_op(t)==(n+1))
            l_op(t)=1;
        end
    end

    for(j=1:10)                        %10 cambios

        arriba=rand;                   %Cambio hacia arriba o hacia abajo
        abajo=rand;
        cambio=arriba>abajo;
        if(cambio==0)
            cambio=-1;
        end

        cambio_alternado=unidrnd(nSTB); %Alternancia de cambios
        join=STB(cambio_alternado)+cambio;

        if(join==(n+1))
            join=1;
        elseif(join==0)
            join=n;
        end

        cambio_alternado=unidrnd(nSTB); %Alternancia de cambios
        cambio=unidrnd(n-1);           %Cambio aleatorio
        join=STB(cambio_alternado)+cambio;

        if(join>n)
            join=join-n;
        end

        cont=0;

        for(i=1:length(HG))
            if(join==HG(i))
                cont=cont+1;
            end
        end

        if(cont~=0)

```

```

        retardo(j)=50;
    else
        for(i=1:length(DSLAM))
            if(join==DSLAM(i))
                cont=cont+1;
            end
        end
        if(cont~=0)
            retardo(j)=150;
        else
            for(i=1:length(LHR))
                if(join==LHR(i))
                    cont=cont+1;
                end
            end
            if(cont~=0)
                retardo(j)=500;
            else
                retardo(j)=600;
            end
        end
    end

    LHR(cambio_alternado)=join;
    DSLAM(cambio_alternado)=join;
    HG(cambio_alternado)=join;
    STB(cambio_alternado)=join;

%Escenario 2 y 4
%Metodologia de cambio: Optimizada

    cont=0;

    for(i=1:length(HG_op))
        if(join==HG_op(i))
            cont=cont+1;
        end
    end

    if(cont~=0)
        retardo_op(j)=50;
    else
        for(i=1:length(DSLAM_op))
            if(join==DSLAM_op(i))
                cont=cont+1;
            end
        end
        if(cont~=0)
            retardo_op(j)=150;
        else
            for(i=1:length(LHR_op))
                if(join==LHR_op(i))
                    cont=cont+1;
                end
            end
            if(cont~=0)
                retardo_op(j)=500;
            else
                retardo_op(j)=600;
            end
        end
    end

```

```

        end
    end
    end
    y=3*cambio_alternado-1;
    HG_op(y)=join;
    HG_op(y+1)=join+1;
    HG_op(y-1)=join-1;

    for(t=1:length(HG_op))
        if(HG_op(t)==0)
            HG_op(t)=n;
        elseif(HG_op(t)==(n+1))
            HG_op(t)=1;
        end
    end
    end

    DSLAM_op=[HG_op d_op];
    LHR_op=[DSLAM_op l_op];
end

retardo;
retardo_op;
promedio(x)=mean(retardo);
promedio_op(x)=mean(retardo_op);
end

figure
bar(promedio,1,'y')
axis([0 11 0 600])
title('Metodologia de Cambio Tradicional')
xlabel('Iteraciones')
ylabel('Tiempo [ms]')

p(n)=mean(promedio);

figure
bar(promedio_op,1,'b')
axis([0 11 0 600])
title('Metodologia de Cambio Optimizada')
xlabel('Iteraciones')
ylabel('Tiempo [ms]')

p_op(n)=mean(promedio_op);

delta(n)=p(n)-p_op(n);

end

m(1)=delta(1);
m(n)=delta(n);

for(t=2:n-1)
    m(t)=(delta(t-1)+delta(t)+delta(t+1))/3;
end

for(h=1:100)
    for(t=2:n-1)
        m(t)=(m(t-1)+m(t)+m(t+1))/3;
    end
end

```

```
end

fix(clock)

plot(m, 'r')
axis([1 1000 0 180])
hold on

nombre_archivo=['ady_25_p', '.xls'];           %Guardar Datos
archivo=fopen(nombre_archivo, 'a');
fprintf(archivo, '%f\n', p);
fclose(archivo);

nombre_archivo=['ady_25_p_op.xls'];           %Guardar Datos
archivo=fopen(nombre_archivo, 'a');
fprintf(archivo, '%f\n', p_op);
fclose(archivo);
```