



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALGORITMO PARA EL PROCESAMIENTO
RÁPIDO DE CODIFICACIÓN DE VIDEO
PARA EL SISTEMA IPTV**

T E S I S

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

PRESENTA:

FELIPE SÁNCHEZ PÉREZ

ASESORA DE TESIS:

DRA. FATIMA MOUMTADI



CD. UNIVERSITARIA

2008

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por todos los conocimientos científicos y humanos aportados. A mis compañeros que a lo largo de mi estancia en la Facultad se convirtieron en apoyo, consejo y amistad. A los profesores con los que tuve la oportunidad de tomar clase y a los sinodales por ser parte de este trabajo.

A mis hermanos Ana Lilia y Mauricio quienes no han dejado de mostrarme su apoyo cualquiera que sea la situación. A mis padres, en especial a mi madre Rosa Pérez Barco quien a pesar de los desvelos siempre ha estado impulsando y apoyando mis proyectos "GRACIAS Mamá".

A mi asesora Fátima Moumtadi por sus consejos y aportaciones para/con este trabajo y por la gran paciencia que me mostró durante todo el desarrollo de esta tesis.

Índice

Introducción.....	1
Objetivo.....	2
Definición del Problema.....	2
Método.....	2
Estructura de la Tesis.....	3
1. Televisión Digital.....	4
1.1 Sistema de Televisión Digital (DTV).....	4
1.1.1 Ventajas frente a la televisión analógica.....	4
1.1.2 Transmisión de la señal de video digital.....	9
1.1.3 Transmisión del video digital.....	10
1.1.4 Formatos de televisión digital.....	10
1.2 Estándares de televisión digital.....	11
1.2.1 Estándar DVB (Digital Video Broadcasting).....	11
1.2.2 Estándar ATSC (Advanced Television System Committee).....	13
1.2.3 Estándar ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting).....	14
1.2.4 Estándares DTV-T adoptados internacionalmente.....	16
1.2.5 La televisión digital terrestre en Latinoamérica (TDT).....	17
1.3 Televisión digital por cable.....	18
1.3.1 Componentes de un sistema de Televisión Digital por Cable.....	18
1.3.2 Transmisión de datos a través de una red de cable.....	20
1.4 Triple Play.....	20
1.4.1 Convergencia de las redes por cable.....	20
1.4.2 Conformación de la red de servicios Triple Play.....	21
1.4.3 Características y ventajas de una red Triple Play.....	22
1.4.4 La industria y los retos ante la convergencia.....	22
1.4.5 Proveedores de servicios de telecomunicaciones en México.....	23
2. Sistema IPTV.....	25
2.1 IPTV (Internet Protocol Television).....	25
2.2 Estructura del sistema IPTV.....	27
2.2.1 Componentes funcionales de la arquitectura IPTV.....	28
2.2.2 Aplicaciones y servicios IPTV.....	30
2.3 Herramientas de codificación.....	31
2.4 Escenarios de distribución casera de IPTV.....	32
2.4.1 Red casera IPTV sin tráfico.....	32
2.4.2 IPTV a través de la red casera.....	33
2.4.3 Servidores Digitales Multimedia.....	34
2.5 Tecnologías de distribución para IPTV.....	34
2.6 IPTV en redes alámbricas e inalámbricas.....	35
2.6.1 Capacidad / Ancho de banda.....	35
2.6.2 Multicast.....	35
2.6.3 Fácil instalación.....	35
2.6.4 Seguridad y privacidad.....	36
2.6.5 Calidad de Servicio.....	36

2.6.6 Cobertura y escalabilidad.....	36
2.7 Red casera híbrida para servicios IPTV.....	37
2.8 Implementación de IPTV alrededor del mundo.....	38
2.9 Tecnologías xDSL.....	39
2.10 Especificaciones de un Sistema de Video IPTV MPEG4.....	41
2.10.1 Descripción de un sistema de video IP.....	41
2.10.2 Transmisores.....	42
2.10.3 Receptores.....	43
2.10.4 Características del transmisor y receptor.....	43
2.10.5 Grabadores de Video en Red (NVR).....	45
2.10.6 Estaciones del centro de control.....	45
2.10.7 Infraestructura de la red IP.....	47
3. Codificación de video bajo el estándar MPEG4.....	50
3.1 Características generales del estándar MPEG.....	50
3.2 Estándar MPEG2.....	51
3.2.1 Multiplexaje y transporte.....	52
3.2.2 Audio MPEG2.....	52
3.2.3 Video MPEG2.....	53
3.3 Estándar MPEG4.....	54
3.3.1 Entrega de tramas de datos.....	55
3.3.2 Versiones de MPEG4.....	56
3.3.3 Transporte y DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework).....	56
3.3.4 Sistemas y tipos de señales.....	57
3.4 MPEG4 parte 10.....	58
3.4.1 Perfiles y niveles.....	59
3.4.2 Estructura de las capas MPEG4 parte 10.....	62
3.5 Algoritmo de codificación de video MPEG4.....	62
3.5.1 Predicción Intracadro (modo INTRA).....	62
3.5.2 Predicción Intercadro (modo INTER).....	63
3.5.3 Tamaños variables de bloques.....	63
3.5.4 Filtro de desbloqueo.....	64
3.5.5 Transformada y cuantización.....	65
3.5.6 Codificación en entropía.....	65
3.5.7 Codificación adaptiva y aritmética.....	66
4. Simulación de la implementación de un algoritmo de procesamiento paralelo de video.....	68
4.1 Diseño del algoritmo de codificación de video bajo el estándar MPEG4.....	68
4.1.1 Desarrollo.....	72
4.2 Simulación del algoritmo existente de codificación de video bajo el estándar MPEG4.....	74
4.3 Simulación del algoritmo propuesto para la codificación de video bajo el estándar MPEG4.....	76
4.3.1 Simulación del algoritmo propuesto a 4 segmentos.....	76
4.3.2 Simulación del algoritmo propuesto a 8 segmentos.....	78
4.3.3 Simulación del algoritmo propuesto a 16 segmentos.....	79
4.4 Comparación y análisis de los resultados obtenidos.....	81

Conclusiones.....	87
Apéndices.....	88
I. Lista de Acrónimos.....	90
II. Código Fuente en MATLAB. Algoritmo actual.....	93
III. Código Fuente en MATLAB. Algoritmo propuesto.....	95
IV. Código Fuente en MATLAB. Resultados.....	99
Referencias.....	106

INTRODUCCIÓN

Son las redes de teleinformática en donde actualmente se dan cambios y mejoras para satisfacer las demandas que la industria y el usuario requieren en términos de optimización de procesos así como de entretenimiento. Dichos cambios se dan a varios niveles, ya sea en la búsqueda de nuevas soluciones que brinden las condiciones favorables para la transmisión rápida y eficiente de voz, video y datos, en general contenido multimedia. O bien mejoras en hardware que administre de mejor manera la cantidad de procesos que tienen a cargo los equipos. De la misma manera en el software se realizan continuas modificaciones para hacer más atractiva la interacción con las soluciones por parte del usuario con las ofertas de contenido.

Es así como la competencia por parte de los proveedores de servicios fomenta de manera importante la carrera hacia ofertar las soluciones más atractivas a las empresas y usuarios que al final son quienes determinan el rumbo de las telecomunicaciones; el cual actualmente se conduce principalmente a la convergencia de tecnologías y servicios así como al mejor uso del ancho de banda para el transporte de contenido multimedia por las redes bajo el protocolo de Internet IP. La convergencia de tecnologías y servicios es un paso que se está llevando a cabo entre los principales competidores ya que tecnológicamente se cuenta con los recursos para hacerlo; sin embargo, con la problemática actual en materia de legislación para poder ofertar al cliente la triada de servicios que conforman el llamado “Triple Play” son las limitaciones con las que se cuenta para comenzar con esta innovación tecnológica y comercial. La convergencia la podemos entender en dos sentidos como anteriormente se le ha hecho referencia; por un lado la convergencia de tecnologías, la cual se refiere a la coexistencia de más de una forma de transportar la información de un punto a otro; y por otra parte la convergencia de servicios la cual consiste en la confluencia de los distintos servicios de telecomunicaciones, voz, video y datos a través de un mismo proveedor de servicios.

Es la necesidad de innovar en el uso y diseño de nuevas formas para ofrecer entretenimiento multimedia de una manera eficiente, que siguen desarrollándose las opciones para lograrlo. Es la calidad de experiencia del usuario final la que se busca satisfacer en primera instancia y la que le da rumbo a las aplicaciones en desarrollo. Precisamente una de estas aplicaciones que se buscan llevar a un nuevo nivel de experiencia tanto tecnológica, comercial como de innovación en la percepción por parte del usuario final es la televisión, la cual se pretende llevar a nuevos puntos de interacción por parte del usuario. Es por esto que uno de los más recientes y prometedores ejemplos de lo antes mencionado es el sistema IPTV o Televisión sobre IP, el cual extiende las posibilidades que el sistema de televisión tradicional incluso por cable logra hacer. Ya que actualmente el sistema de televisión limita a sus suscriptores a ver o comprar contenido que en muchas ocasiones no es de relevancia para ellos, ya que son los canales que los generadores de contenido entregan a los proveedores de televisión y a su vez éstos a los suscriptores; los que tienen un alto porcentaje de desaprovechamiento por el poco interés que provocan al espectador.

El sistema IPTV cuenta con dos principales motivos para considerarlo como una prometedora alternativa en el ámbito del entretenimiento. El primero es el reto tecnológico que la implementación de éste nuevo sistema en las redes actuales trae para los desarrolladores de tecnología así como también para los proveedores de telecomunicaciones. Y el segundo la amplia gama de ofertas que este sistema trae consigo ya que no se restringe al uso exclusivo de la televisión la cual la lleva a un punto de interacción con el usuario de modo que incrementa notablemente su calidad de experiencia; sino además el resto de aplicaciones que puede tener conviviendo conjuntamente dentro del sistema mismo, como por ejemplo la de reproducción de música digital, videojuegos, e-mail, etc. Es por esto que resulta muy interesante estudiar este sistema así como también las implicaciones y complicaciones que éste tiene, ya que como todo sistema, tiene puntos débiles y aspectos en los cuales poder mejorar su desempeño. Este trabajo se enfocará principalmente en dar una perspectiva general del sistema, su arquitectura dentro de una red IP, sus deficiencias y la propuesta para mejorar el tiempo total de procesamiento de la información enfocándose principalmente en la codificación del contenido de video. Dejando abierto éste trabajo para futuras mejoras así como para el estudio de otros aspectos que se pueden mejorar dentro de dicho sistema.

Objetivo

Hacer notar la relevancia que toma la codificación de video bajo el estándar MPEG4 en cuanto al poder de procesamiento y calidad de compresión, así como del tiempo requerido para tal acción en la transmisión de contenido multimedia a través de una red IP. Revisar la arquitectura del sistema IPTV para proponer un algoritmo de procesamiento rápido de codificación de video bajo el estándar MPEG4 que reduzca el tiempo total de procesamiento al codificar video dentro del sistema IPTV. Desarrollar un programa en MATLAB que simule la implementación del algoritmo propuesto de procesamiento rápido de codificación de video bajo el estándar MPEG4 probando así su eficiencia.

Definición del Problema

Dada la importancia que en la actualidad tiene la transmisión de contenido multimedia por Internet, y más aún con la convergencia de tecnologías y el sistema IPTV, surge la necesidad de mejorar la transmisión de información, principalmente el tiempo, lo cual se logra aumentando considerablemente el ancho de banda en la infraestructura de la red con lo que se convierte en una opción considerablemente costosa; por lo que una alternativa está en reducir los tiempos de compresión teniendo también altos niveles de calidad, para lo que se requiere un alto poder de procesamiento que a su vez conlleva a un tiempo relativamente considerable que dista mucho de ser considerado un proceso de codificación en tiempo real. Así, es necesario mejorar el tiempo en la transmisión para lograr una adopción total por parte del usuario.

Método

El método propuesto para mejorar y/o solucionar este problema es el desarrollo de un algoritmo alternativo para un proceso rápido de codificación de video bajo el estándar MPEG4. Por medio de la simulación se ejemplificará la distribución de carga para el

procesamiento de un paquete de datos, aumentando la eficiencia del proceso y reduciendo así el tiempo total del proceso de codificación de video logrando así acercarnos a una transmisión en tiempo real.

Estructura de la Tesis

En el Capítulo I, se dan las generalidades de la televisión digital, así como las ventajas de ésta sobre la televisión analógica, los formatos de la televisión digital y los estándares adoptados alrededor del mundo. Dado que el trabajo posteriormente se enfocará en la transmisión digital de la señal de televisión por un medio alámbrico, se muestran los componentes genéricos de un sistema de televisión digital por cable. Para finalmente dar una visión de la convergencia de tecnologías, voz, video y datos por medio de la misma red y brindado por un solo proveedor de telecomunicaciones; lo que comercialmente ha recibido el nombre de Triple Play.

El Capítulo II, va enfocado al estudio de la arquitectura genérica de un sistema IPTV, específicamente detallará los componentes de éste sistema así como de sus aplicaciones y servicios. El proceso de codificación de la señal de televisión también se mostrará en este capítulo. Posteriormente se darán algunas de las características más importantes a tomar en cuenta por parte del usuario para así mejorar su calidad de experiencia y la adopción total del sistema. Finalmente se muestran las especificaciones técnicas del sistema IPTV basado en codificación MPEG4 y la confluencia con las tecnologías existentes; así como una visión de la implantación del sistema IPTV alrededor del mundo.

En el capítulo III se detallan los aspectos relacionados con el estándar de codificación MPEG2 para posteriormente mostrar las diferencias que el estándar adoptado por el sistema IPTV (MPEG4). En general este capítulo mostrará las especificaciones del estándar de codificación para poder entender los pasos que sigue el algoritmo actual de codificación y poder así encontrar y proponer alternativas en cuanto a la arquitectura del sistema o al propio algoritmo de codificación empleado para la entrega de IPTV al suscriptor.

El capítulo IV, en primera instancia detalla la propuesta que se hace en este trabajo, de donde surge la idea basada en el estudio de la arquitectura y herramientas de codificación utilizadas en el sistema IPTV y le da sentido a este trabajo. En segundo lugar se realiza una simulación del algoritmo existente bajo el estándar MPEG4. Posteriormente se realiza la simulación del algoritmo propuesto bajo el estándar MPEG4. Para finalmente mostrar los resultados obtenidos después de haber hecho una comparación, para así poder mostrar una conclusión referente a la propuesta hecha en este trabajo de tesis y mostrar así que esta propuesta puede ser una alternativa a tomar en cuenta para mejorar el desempeño de un sistema IPTV.

I. Televisión Digital

1.1 Sistema de Televisión Digital (DTV)

La televisión digital es un sistema para transmitir, recibir y visualizar imágenes de televisión de alta calidad y sonido estereo.

Los principales objetivos son ofrecer una mejor calidad en la imagen y sonido por medio del uso del procesamiento digital de la señal, así como la introducción de nuevos servicios digitales como multicasting (transmisión de múltiples cadenas de video por un solo canal) y datacasting (transmisión de datos).

Existen algunas similitudes entre la televisión analógica y digital, ambas hacen uso de las bandas de frecuencias VHF y UHF, aunque algunas estaciones contarán con la capacidad de ser sintonizadas en más de una frecuencia, lo cual debe de ser tomado en cuenta al momento de la implementación de DTV (Digital Television). Una vez que la transición a televisión digital sea completada, una gran cantidad del espectro electromagnético utilizado para la televisión analógica será liberado, pudiendo así ser posteriormente ser reasignado para nuevos servicios.

Por otro lado, tanto los encargados de la transmisión de televisión analógica y digital utilizan la modulación para el transporte de sus respectivas señales. La transmisión de la televisión analógica utiliza modulación en amplitud (AM) para las imágenes; y modulación en frecuencia (FM) para el audio, mientras que las señales de televisión digital utilizan paquetes digitales para la transmisión de imágenes y audio. Tres diferentes tipos de modulación están actualmente siendo usados para DTV:

- Estados Unidos utiliza la modulación 8VSB (Eight Level Vestigial Sideband).
- Europa, parte de Sudamérica y la mayoría de Australia y Nueva Zelanda utilizan COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- La televisión digital por cable usa QAM (Quadrature Amplitude Modulation).
- Los servicios de transmisión satelital hacen uso de QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying).

Existen también dispositivos sintonizadores que pueden soportar más de un tipo de modulación. Un ejemplo son los sintonizadores 8VSB/QAM tanto para medios alámbricos e inalámbricos. Esto para hacer más flexible la oferta de la televisión digital. [1]

1.1.1 Ventajas frente a la televisión analógica

La transmisión de televisión analógica se ve afectada por dispersión de energía, zonas de sombra y reflexiones que provocan ecos. En transmisión analógica esos problemas se manifiestan como nieve, ruido en la imagen, dobles imágenes, colores deficientes y sonido de baja calidad. En transmisión digital, al estar la señal codificada, recibimos una imagen siempre íntegra, sin embargo, cuando la señal no es suficientemente potente para los circuitos decodificadores se pierde completamente la recepción.

Una recepción óptima suele necesitar menor potencia de señal que una transmisión analógica de calidad normal.

Mayor calidad de imagen y sonido

La imagen, sonido y datos asociados a una emisión de televisión se codifican digitalmente en formato MPEG-2 (Moving Picture Experts Group). El problema de los ecos se ha solventado en el sistema europeo aplicando la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

La compresión MPEG-2 utilizada es una compresión con pérdidas. Esto significa que antes de la emisión la calidad del audio y el vídeo en televisión digital es inferior que en televisión analógica. Por lo tanto, lo que nos garantiza la televisión digital terrestre es una mejor calidad de la señal recibida, no del vídeo y audio propiamente.

Mayor número de emisiones de televisión

La tecnología de televisión analógica actual sólo permite la transmisión de un único programa de televisión por cada canal UHF (Ultra High Frequency) de 8 MHz de amplitud. Además los canales adyacentes al que tiene lugar una emisión han de estar libres para evitar las interferencias mutuas entre las señales, que perjudicarían la calidad de la señal recibida.

La mayor capacidad de canales se consigue en (Terrestrial Digital Television) TDT mediante dos mejoras. Por una parte la modulación digital COFDM genera formas de onda mucho más cuadradas que las analógicas, minimizando que la señal de un canal que llegue a los adyacentes.

En segundo lugar la codificación digital de los programas permite que en el ancho de banda disponible en un solo canal UHF se puedan transmitir varios programas con calidad digital similar a la de un DVD (Digital Versatile Disc). El número de programas simultáneos depende de la calidad de imagen y sonido deseados.

Mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales

En cada canal de radio se emite un único flujo MPEG-2, que puede contener un número arbitrario de flujos de vídeo, audio y datos. Aunque varios operadores compartan el uso de un canal multiplexado (múltiplex), cada uno puede gestionar el ancho de banda que le corresponde para ofrecer los contenidos que desee.

El aprovechamiento de toda esta información por parte del usuario es posible gracias a las diversas aplicaciones de que dispone el receptor de televisión digital TDT, en general conforme al estándar de la industria llamado MHP (Multimedia Home Platform). Cada operador podrá desarrollar las aplicaciones que proporcionen los servicios deseados a sus clientes, y éstas se instalarán en el receptor de televisión digital TDT para dar acceso a dichos servicios.

¿Qué es necesario para ver la DT?

En la actualidad las emisiones de TDT tienen lugar en la misma banda UHF que la televisión analógica y para sintonizar esta nueva señal no tiene por qué ser necesario modificar la instalación de la antena. Pero sí es necesario instalar un decodificador compatible DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) para cada aparato receptor de televisión analógica o comprar un televisor que cumpla dicho estándar. Para poder recibir la señal de TDT debe haber emisión de la misma en la zona donde quiere recibirse.

Por lo tanto, siguen sirviendo las mismas antenas y las mismas redes de distribución de señal que actualmente se usan para la señal analógica, pues ambas son señales en la banda UHF. Sin embargo los amplificadores instalados suelen ser monocanal (sólo amplifican la señal de un único canal UHF) y además están pensados para señales de tipo analógico. Por lo tanto se hace necesario añadir un nuevo amplificador de canal por cada canal usado para transmisión de televisión digital.

Con esta simple y barata modificación la señal de televisión digital llegará a las terminales de todas las viviendas, pero la señal llega codificada en un formato que los receptores actuales de televisión analógica no entienden. A cada televisor en el que se desee ver las emisiones de televisión digital se le deberá conectar un decodificador compatible DVB-T, que demodule la señal COFDM, interprete el flujo MPEG-2, extraiga el programa seleccionado, lo decodifique y lo envíe al receptor de televisión analógica. [2]

1.1.2 Transmisión de la señal de video digital

Los sistemas DVB (Digital Video Broadcasting) distribuyen los datos por:

- satélite (DVB-S)
- cable (DVB-C)
- televisión terrestre (DVB-T)
- televisión terrestre para dispositivos portátiles (DVB-H)

Digital Video Broadcasting by Satellite (DVB-S) es un sistema que permite incrementar la capacidad de transmisión de datos y televisión digital a través de un satélite. La estructura permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios de video, audio y datos.

Para transmisiones vía satélite se adopta la codificación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), con un flujo binario variable de 18,4 a 48,4 Mbps. El formato DVB-S es ampliamente usado en países europeos como Alemania y Finlandia.

El sistema DVB trabaja en la Información Específica de Programa (PSI) de la trama MPEG, con tablas de sistemas independientes que lo trabajan. Esto se denomina información de alimentación o servicio. La figura 1.1 ejemplifica la cadena de transmisión de un sistema DVB-S. Véase Figura 1.1. [2]

CADENA DE TRANSMISIÓN

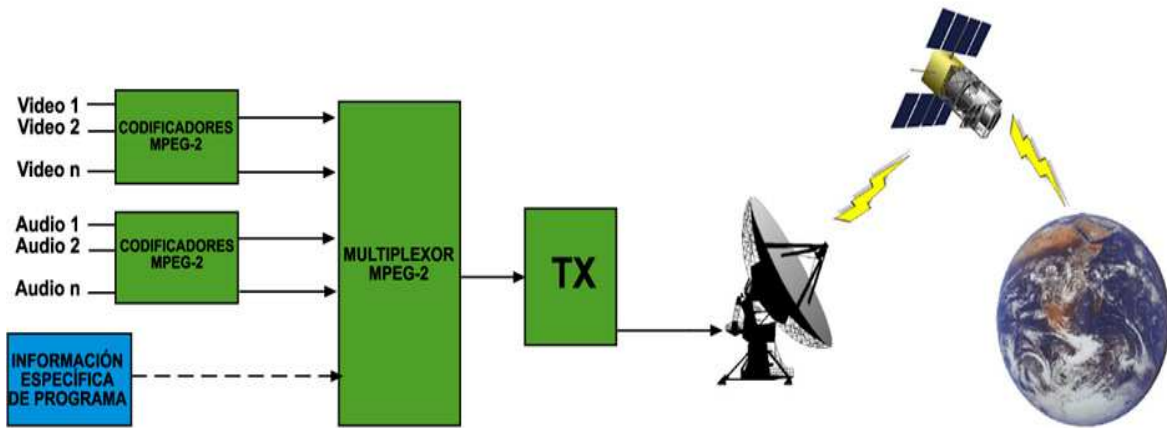


Figura 1.1 Cadena de Transmisión de un Sistema DVB-S [2]

Digital Video Broadcasting – Cable (DVB-C) basada en el estándar europeo ETS 300 429 “Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Cable Systems” elaborado bajo el auspicio de la Unión Europea de Radiodifusión (EBU) y el Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones (ETSI).

DVB-C forma parte del estándar DVB, que define la modulación de las tramas MPEG-2 dependiendo del tipo de radiodifusión que va a tener (satélite, cable o VHF/UHF). El hecho de que la difusión sea mediante cable, hace que la implantación de DVB-C sea complicada y de alto coste económico, y que la cobertura se limite a las redes que hay desplegadas. Por otra parte hace que la emisión sea inmune a la interferencia y que no existan retardos. A continuación, la Figura 1.2 presenta un diagrama de bloques que muestra la manera de transmisión para DVB-C. [2]

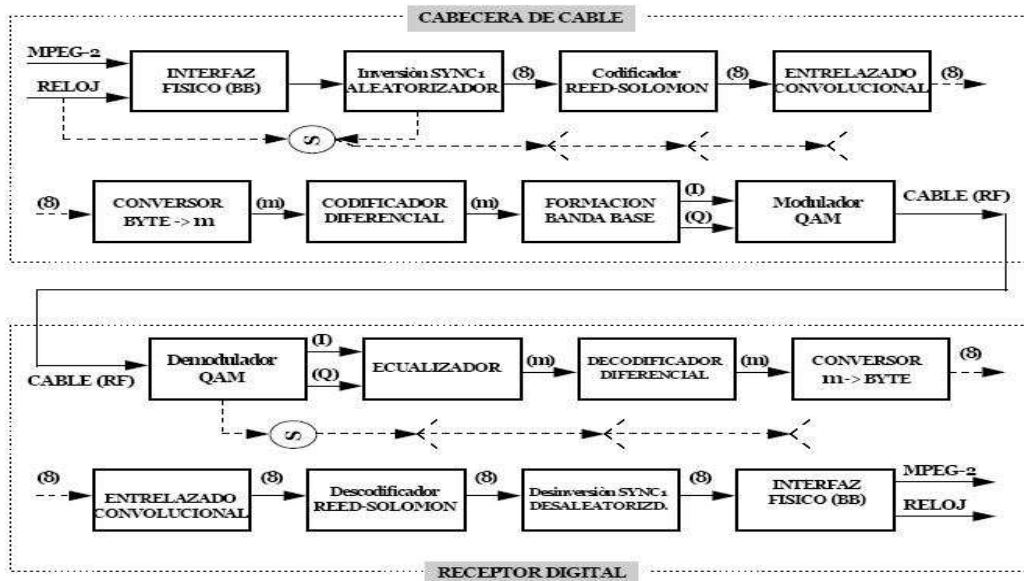


Figura 1.2. Diagrama de bloques de la transmisión DVB. [2]

- Aleatorización: A la entrada del canal tenemos la formación de la banda base, de acuerdo con la capa de transporte MPEG-2. A continuación esta es sometida a un proceso de aleatorización, con el fin de conformar el espectro y que este se distribuya uniformemente, de esta manera el espectro no se concentrará en rayas espectrales periódicas, lo que acentuaría las interferencias entre símbolos. La aleatorización que se utiliza es del tipo “set-reset”.
- Codificación: Seguidamente se aplica una codificación Reed-Solomon, a fin de facilitar la detección de errores en la cadena de recepción, el código Reed-Solomon utilizado en el estándar ETS 300 429 es capaz de detectar 8 símbolos erróneos.
- Entrelazado: Una vez que los paquetes están codificados, se aplica un entrelazado convolucional, con el fin de segmentar y repartir las ráfagas prolongadas de errores, facilitando así su posterior detección y corrección en recepción. La combinación de la codificación Reed-Solomon y el entrelazado convolucional permiten la detección de 96 símbolos erróneos (768 bits).
- Conversión Byte-símbolo: Una vez la señal en banda base ya esta acondicionada para su transmisión, esta entra en el bloque de conversión de byte a símbolo. El número de bits por símbolo depende del número de símbolos de la constelación.
- Codificación Diferencial: A los 2 bits de más peso se les aplica una codificación diferencial, con el fin de conseguir una constelación QAM (Quadrature Amplitude Modulation) invariante en rotaciones de $\pi/2$. Merced a esta codificación diferencial, los puntos del cuadrante primero de la constelación-QAM se pueden convertir en los del cuadrante segundo, tercero o cuarto, sin más que cambiar los dos bits más significativos.
- Filtrado: Antes de la modulación QAM, y con objeto de reducir la interferencia entre símbolos, las señales I y Q se someten a un filtrado de raíz de coseno alzado.
- Modulación: Una vez filtrada la señal se modula en QAM y se envía, la constelación utilizada puede ser de 16, 32, 64, 128 o 256 símbolos. La cadena receptora hace los procesos recíprocos para obtener la señal MPEG-2 enviada.

El estándar DVB-T forma parte de toda una familia de estándares de la industria europea para la transmisión de emisiones de televisión digital según diversas tecnologías: emisiones mediante la red de distribución terrestre de señal usada en la televisión analógica tradicional (DVB-T), emisiones desde satélites geoestacionarios (DVB-S), por redes de cable (DVB-C) e incluso para emisiones destinadas a dispositivos móviles con reducida capacidad de proceso y alimentados por baterías (DVB-H).

Terrestrial Digital Television o TDT es la aplicación de las tecnologías del medio digital a la transmisión de contenidos a través de una antena convencional (aérea) o de conexión por cable o satélite. Aplicando la tecnología digital se consiguen mayores posibilidades, como proveer de un mayor número de canales, mejor calidad de imagen o imagen en Alta Definición (HD) y mejor calidad de sonido (empleando sistemas como AC3 o Dolby Digital.) La tecnología usada en Norteamérica es ATSC (Advanced Television Systems Committee), ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting) en Japón, y DVB-T en Europa y Australia. El resto del mundo aún no se ha decidido, aunque ISDB-T es muy similar a DVB-T.

A continuación, la Figura 1.3 muestra la cadena de transmisión del sistema DVB-T. [2]

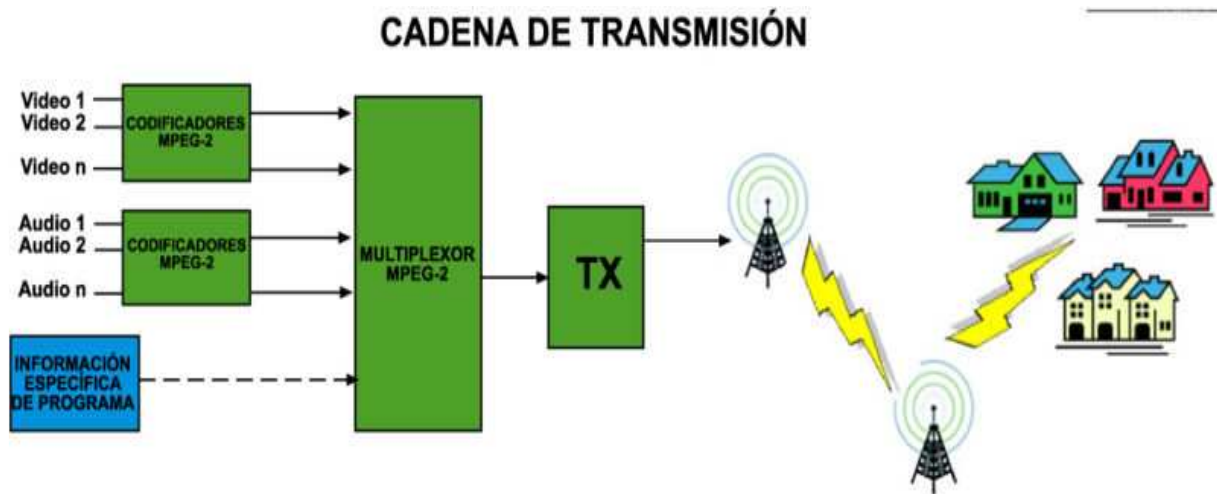


Figura 1.3. Cadena de transmisión de un sistema DVB-T [2]

Digital Video Broadcasting Handhelds o DVB-H es el estándar de tecnología global para la transmisión de televisión digital a receptores móviles, como celulares o PDAs. Publicado como un estándar formal (EN 203 204) por ETSI en Noviembre del 2004. Se trata de una especificación de la capa física diseñado para permitir la entrega eficiente de datos IP encapsulados sobre redes terrestres. Debido a que es un estándar no propietario, DVB-H es soportado por prácticamente toda la industria siendo sujeto este estándar a más de treinta pruebas técnicas y comerciales alrededor del mundo.

DVB-H es una extensión de DVB-T con algunas compatibilidades; por ejemplo, pueden compartir la misma multiplexación. DVB-H utiliza un mecanismo llamado Encapsulación Multi-Protocolo (MPE), haciendo posible el transporte de protocolos de red sobre las cadenas de transporte MPEG-2. Una característica de corrección de error (FEC) es utilizada en conjunto con lo anterior para mejorar la robustez y así la movilidad de la señal.

Otro elemento esencial de DVB-H se le conoce como *Time Slicing* el cual es la principal técnica usada para alcanzar el ahorro de energía necesario para su funcionamiento. Cada servicio individual de TV en DVB-H es transmitido por separado, en el sentido que permite a los equipos receptores permanecer en modo pasivo y sólo convertirse en activos cuando el servicio al cual están sintonizados sea transmitido. Para dispositivos móviles esto resulta de gran beneficio ya que el ahorro de energía resulta significativo. [3]

1.1.3 Transmisión del vídeo digital

La organización que promueve estándares aceptados internacionalmente de televisión digital es Digital Video Broadcasting (DVB), encargado de regular y proponer los procedimientos para la transmisión de señales de televisión digitales compatibles. Está constituido por más de 220 instituciones y empresas de todo el mundo y los estándares propuestos han sido ampliamente aceptados en Europa y casi todos los continentes, con la excepción de Estados Unidos y Japón donde coexisten con otros sistemas propietarios. Todos los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio están basados

en los estándares definidos por MPEG (Moving Picture Expert Groups). No obstante, los estándares MPEG sólo cubren los aspectos y metodologías utilizados en la compresión de las señales de audio y vídeo y los procedimientos de multiplexación y sincronización de estas señales en tramas de programa o de transporte.

1.1.4 Formatos de Televisión Digital

SDTV (Standard Definition Television)

SDTV es el nivel de calidad de transmisión más básico que puede visualizarse tanto para analógico 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. 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.

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. 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 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). [4]

Tabla 1.1. Comparación de las principales características entre los tres formatos de TV [4]

	Calidad	Resolución	Relación de Aspecto	Sonido
SDTV	Imágenes sin interferencias	Escaneo Entrelazado con 480 líneas	4:3	Dolby Digital 5:1 Sonido Digital Envolvente
EDTV	Incrementa la nitidez, color de la imagen	Escaneo progresivo con 480 líneas (mínimo)	4:3 16:9	Dolby Digital 5:1 Sonido Digital Envolvente
HDTV	Excelente resolución, nitidez y color de la imagen	Hasta 1080 líneas de resolución para escaneo entrelazado y progresivo, 1080i y 720p respectivamente	4:3 16:9	Dolby Digital 5:1 Sonido Digital Envolvente

1.2 Estándares de Televisión Digital

1.2.1 Estándar DVB (Digital Video Broadcasting)

Como fue mencionado anteriormente, DVB es una organización que promueve estándares aceptados internacionalmente de televisión digital, en especial para HDTV y televisión vía satélite, así como para comunicaciones de datos vía satélite

El DVB ha elaborado distintos estándares en función de las características del sistema de radiodifusión. Los estándares más ampliamente utilizados en la actualidad son el DVB-S y el DVB-C que contemplan las transmisiones de señales de televisión digital mediante redes de distribución por satélite y cable respectivamente. La transmisión de televisión digital a través de redes de distribución terrestres utilizando los canales VHF (Very High Frequency) convencionales se contempla en el estándar DVB-T, que actualmente se está implantando en la mayor parte de los países europeos. Además de estos estándares también están especificados sistemas para la distribución de señales de televisión digital en redes multipunto, sistemas SMATV (Satellite Master Antenna Televisión). También existen estándares que definen las características de la señalización en el canal de retorno en sistemas de televisión interactiva, la estructura de transmisión de datos para la encriptación y desencriptación de programas de acceso condicional, la transmisión de subtítulos, y la radiodifusión de datos (nuevos canales de teletexto) mediante sistemas digitales.

Estos estándares definen la capa física y la capa de enlace de datos de un sistema de distribución. Los dispositivos interactúan con la capa física a través de un interfaz paralelo síncrono (SPI), un interfaz serie síncrono (SSI) o un interfaz serie asíncrono (ASI). Todos los datos se transmiten en flujos de transporte MPEG-2 con algunas restricciones adicionales (DVB-MPEG). Se está experimentando un estándar para distribución comprimida en el tiempo (DVB-H) para distribución a dispositivos móviles. [5]

DVB

Los formatos DVB con MPEG-2 de resolución de pantalla estandarizados por la EBU y la ETSI, han sido divididos en televisión estándar y de alta definición (SDTV / HDTV), mostrando sus especificaciones en la Tabla 1.2. [5]

Tabla 1.2 Especificaciones técnicas para el estándar DVB, con resolución de pantalla MPEG-2 [5]

Formatos DVB con Resolución de Pantalla MPEG-2						
	Formato	Pixeles Horizontales	Escaneo Vertical	Relación Aspecto	Modo Escaneo	Tasa Frames / Segundo [Hz]
HDTV	1152i ⁽²⁾	1440	1152	16:9,	interlaced	25
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	23.976
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	24
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	29.97
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	30
	1080i	1920	1080 *	16:9,	interlaced	29.97
	1080i	1920	1080 *	16:9,	interlaced	30
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	25
	1080i	1920	1080 *	16:9,	interlaced	25
	1035i	1920	1035 ⁽¹⁾	16:9,	interlaced	25
	1035i	1920	1035 ⁽¹⁾	16:9,	interlaced	29.97
	1035i	1920	1035 ⁽¹⁾	16:9,	interlaced	30
	720p	1280	720	16:9,	progressive	23.976
	720p	1280	720	16:9,	progressive	24
	720p	1280	720	16:9,	progressive	29.97
	720p	1280	720	16:9,	progressive	30
	720p	1280	720	16:9,	progressive	59.94
	720p	1280	720	16:9,	progressive	60
720p	1280	720	16:9,	progressive	25	
720p	1280	720	16:9,	progressive	50	
SDTV	576p ⁽²⁾	720	576	16:9,	progressive	24
	576p	720	576	16:9,	progressive	25
	576p	720	576	16:9,	progressive	50
	576p ⁽²⁾	720	576	4:3,	progressive	24
	576p	720	576	4:3,	progressive	25
	576p	720	576	4:3,	progressive	50
	576i	720	576	16:9,	interlaced	25
	576i	720	576	4:3,	interlaced	25
	576p	544, 480, 352	576	16:9, 4:3	progressive	24 ⁽²⁾ , 25
	576i	544, 480, 352	576	16:9, 4:3	interlaced	25
	480p	720	480	16:9, 4:3	progressive	23.976, 24, 29.97, 30, 59.94,60
	480i	720	480	16:9, 4:3	interlaced	29.97, 30
	480p	640	480	4:3,	progressive	23.976, 24, 29.97, 30, 59.94,60
	480i	640	480	4:3,	interlaced	29.97, 30
480p	544, 480, 352	480	16:9, 4:3	progressive	23.976, 29.97	
480i	544, 480, 352	480	16:9, 4:3	interlaced	29.97	

* Considerando que realmente estos formatos codifican 1088 líneas para ser suficientes para el estándar MPEG-2. El número de líneas de codificación vertical debe ser divisible entre 16 para un escaneo progresivo, mientras que debe ser divisible entre 32 para un escaneo entrelazado; siendo las últimas 8 líneas de relleno para MPEG-2.

⁽¹⁾ Para satisfacer el estándar MPEG-2 el formato 1035i es actualmente codificado con 1056 líneas. 21 líneas son de relleno para MPEG-2, mientras que el decodificador solo activa 1035 líneas.

⁽²⁾ Formatos definidos para alguna contribución de aplicaciones específicas. [5]

1.2.2 Estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee)

Establecido en 1982, el ATSC (Advanced Television Systems Committee) es el grupo que desarrolló el estándar de televisión digital para los Estados Unidos de Norteamérica, adoptado también por Canadá, México, Corea del Sur y recientemente Honduras, siendo considerado por otros países también.

El formato de televisión de alta definición (HDTV) bajo el estándar ATSC, produce una relación de aspecto de 16:9 con un tamaño de 1920x1080 pixeles, más de seis veces la resolución del formato estándar STDV. Sin embargo también son soportadas imágenes de otros tamaños.

ATSC también brinda calidad respecto a lo que el audio se refiere ya que al utilizar el formato Dolby Digital AC-3, se brinda “Theater Quality Audio”; así como también muchos otros servicios auxiliares que este estándar proporciona.

El sistema ATSC necesita para transmitir de un canal completo, por lo que los operadores que necesitan difundir señales analógicas, requieren de canales extras para poder coexistir con un sistema híbrido (analógico-digital). ATSC soporta un gran número de resoluciones en pantalla, relaciones de aspecto y tasas de velocidad de los frames. En la Tabla 1.3 se enlistan las diferentes resoluciones, formato y frames por segundo (fps) por manera de escaneo. [5]

Tabla 1.3. Especificaciones de los formatos de resolución. [5]

Resolución	Formato	Relación de Aspecto	[fps] por Forma de Escaneo	
			Entrelazado	Progresivo
640x480	SDTV	4:3	29.97 30	23.973; 24; 29.97; 30; 59.94; 60
704x480	SDTV	4:3 16:9	29.97 30	23.973; 24; 29.97; 30; 59.94; 60
1280x720	HDTV	16:9		23.973; 24; 29.97; 30; 59.94; 60
1920x1080	HDTV	16:9	29.97 30	23.973; 24; 29.97; 30

Para transportar ATSC se utiliza la especificación MPEG-2, que encapsula y transporta cadenas de 188 bytes. Así, el receptor antes de decodificar el audio y el video debe demodular y aplicar corrección de errores a la señal, para finalmente demultiplexar la señal en sus correspondientes señales. Es por esto que el sistema ATSC utiliza MPEG-2 como codec de video y Dolby Digital ACC-3 como codec de audio.

Las señales ATSC están diseñadas para utilizar el mismo ancho de banda, 6MHz, que utiliza el antecesor de éste sistema el NTSC el cual se quiere paulatinamente hacer desaparecer para la adopción total de ATSC. Finalmente después de que las señales han

sido comprimidas y multiplexadas, el paquete transportado puede ser modulado de distintas maneras dependiendo del método de transmisión. [5]

ATSC

Los Formatos digitales estandarizados divididos para SDTV y HDTV para ATSC, se muestran en la Tabla 1.4. [5]

1.2.3 Estándar ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) o Transmisión Digital de Servicios Integrados es el formato de televisión digital y radio digital que Japón ha creado para permitir a las estaciones de radio y televisión la conversión a digital.

Además de transmisión de audio y video, ISDB también define conexiones de datos (transmisión de datos) con Internet como un canal de retorno sobre varios medios y con diferentes protocolos. Esto se usa, por ejemplo, para interfaces interactivas como la transmisión de datos y Guías Electrónicas de Programas (EPG).

Siendo el ISDB-T el formato exclusivo para la transmisión terrestre, cuenta con las siguientes características:

- Hay dos tipos de receptor de ISDB-T: TV y STB (Set Top Box), teniendo una relación de aspecto de 16:9
- ISDB-T puede transmitir un canal HDTV y un canal de teléfono móvil dentro de un ancho de banda de 6 MHz reservado usualmente para transmisiones de TV.
- ISDB-T permite seleccionar entre dos y tres canales SDTV en lugar de uno solo en HDTV (multiplexando canales SDTV). La combinación de estos servicios puede ser cambiada en cualquier momento.
- ISDB-T proporciona servicios interactivos con transmisión de datos. Servicios tales como juegos o compras, vía línea telefónica o Internet de banda ancha.
- ISDB-T proporciona EPG (Electronic Program Guide, o Guía Electrónica de Programa)
- ISDB-T soporta acceso a Internet como un canal de retorno que trabaja para soportar la transmisión de datos. El acceso a Internet también es provisto en teléfonos móviles.
- ISDB-T provee SFN (Single Frequency Network) y tecnología on-channel repeater. SFN hace uso eficiente del recurso del espectro de frecuencia.
- ISDB-T se puede recibir en interiores con una simple antena interior.
- ISDB-T proporciona robustez a la interferencia multi-trayectoria ("fantasmas")
- ISDB-T proporciona robustez a la interferencia de televisión analógica co-canal.
- ISDB-T proporciona robustez a ruidos impulso que vienen de motores de vehículos y líneas de poder en ambientes urbanos.
- Se afirma que ISDB-T permite recepción de HDTV en vehículos móviles por sobre los 100 km/h (esto no ha sido comprobado todavía); DVB-T solo puede recibir SDTV en vehículos móviles, y se afirma que ATSC no puede ser recibido en vehículos móviles en absoluto (sin embargo, a principios de 2007 hubo reportes de recepción exitosa de ATSC en laptops usando receptores USB *Universal Serial Bus* en vehículos móviles).

Tabla 1.4. Especificaciones técnicas para el estándar ATSC, con resolución de pantalla MPEG-2 [5]

Formato ATSC						
	Formato	Pixeles Horizontales	Escaneo Vertical	Relación Aspecto	Modo Escaneo	Tasa Frames / Segundo [Hz]
HDTV	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	23.976
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	24
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	29.97
	1080p	1920	1080 *	16:9,	progressive	30
	1080i	1920	1080 *	16:9,	interlaced	29.97
	1080i	1920	1080 *	16:9,	interlaced	30
	720p	1280	720	16:9,	progressive	23.976
	720p	1280	720	16:9,	progressive	24
	720p	1280	720	16:9,	progressive	29.97
	720p	1280	720	16:9,	progressive	30
	720p	1280	720	16:9,	progressive	59.94
	720p	1280	720	16:9,	progressive	60
SDTV	480p	704	480	16:9,	progressive	23.976
	480p	704	480	16:9,	progressive	24
	480p	704	480	16:9,	progressive	29.97
	480p	704	480	16:9,	progressive	30
	480p	704	480	16:9,	progressive	59.94
	480p	704	480	16:9,	progressive	60
	480i	704	480	16:9,	interlaced	29.97
	480i	704	480	16:9,	interlaced	30
	480p	704	480	4:3,	progressive	23.976
	480p	704	480	4:3,	progressive	24
	480p	704	480	4:3,	progressive	29.97
	480p	704	480	4:3,	progressive	30
	480p	704	480	4:3,	progressive	59.94
	480p	704	480	4:3,	progressive	60
	480i	704	480	4:3,	interlaced	29.97
	480i	704	480	4:3,	interlaced	30
	480p	640	480	4:3,	progressive	23.976
	480p	640	480	4:3,	progressive	24
	480p	640	480	4:3,	progressive	29.97
	480p	640	480	4:3,	progressive	30
	480p	640	480	4:3,	progressive	59.94
	480p	640	480	4:3,	progressive	60
	480i	640	480	4:3,	interlaced	29.97
	480i	640	480	4:3,	interlaced	30

* Considerando que realmente estos formatos codifican 1088 líneas para ser suficientes para el estándar MPEG-2. El número de líneas de codificación vertical debe ser divisible entre 16 para un escaneo progresivo, mientras que debe ser divisible entre 32 para un escaneo entrelazado; siendo las últimas 8 líneas de relleno para MPEG-2. [5]

ISDB utiliza el estándar MPEG-2 como sistema de compresión de audio y video, de la misma manera que los anteriores sistemas ATSC y DVB, aunque estos últimos, también pueden utilizar otros métodos de compresión como JPEG (Joint Photographic Experts Group) y MPEG-4 [5]

ISDB

Los formatos digitales estandarizados en Japón, divididos en SDTV y HDTV, se presentan en la Tabla 1.5. [5]

Tabla 1.5. Especificaciones técnicas para el estándar ISDB, con resolución de pantalla MPEG-2 [5]

Formatos ISDB						
	Formato	Pixeles Horizontales	Escaneo Vertical	Relación Aspecto	Modo Escaneo	Tasa Frames / Segundo [Hz]
HDTV	1125i	1920	1080 *	16:09	interlaced	29.97
	1125i	1440	1080 *	16:09	interlaced	29.97
	750p	1280	720	16:09	progressive	59.94
SDTV	525p	720	480	16:09	progressive	59.94
	525i	720	480	16:09	interlaced	29.97
	525i	544	480	16:09	interlaced	29.97
	525i	480	480	16:09	interlaced	29.97
	525i	720	480	04:03	interlaced	29.97
	525i	544	480	04:03	interlaced	29.97
	525i	480	480	04:03	interlaced	29.97

* Considerando que realmente estos formatos codifican 1088 líneas para ser suficientes para el estándar MPEG-2. El número de líneas de codificación vertical debe ser divisible entre 16 para un escaneo progresivo, mientras que debe ser divisible entre 32 para un escaneo entrelazado; siendo las últimas 8 líneas de relleno para MPEG-2. [5]

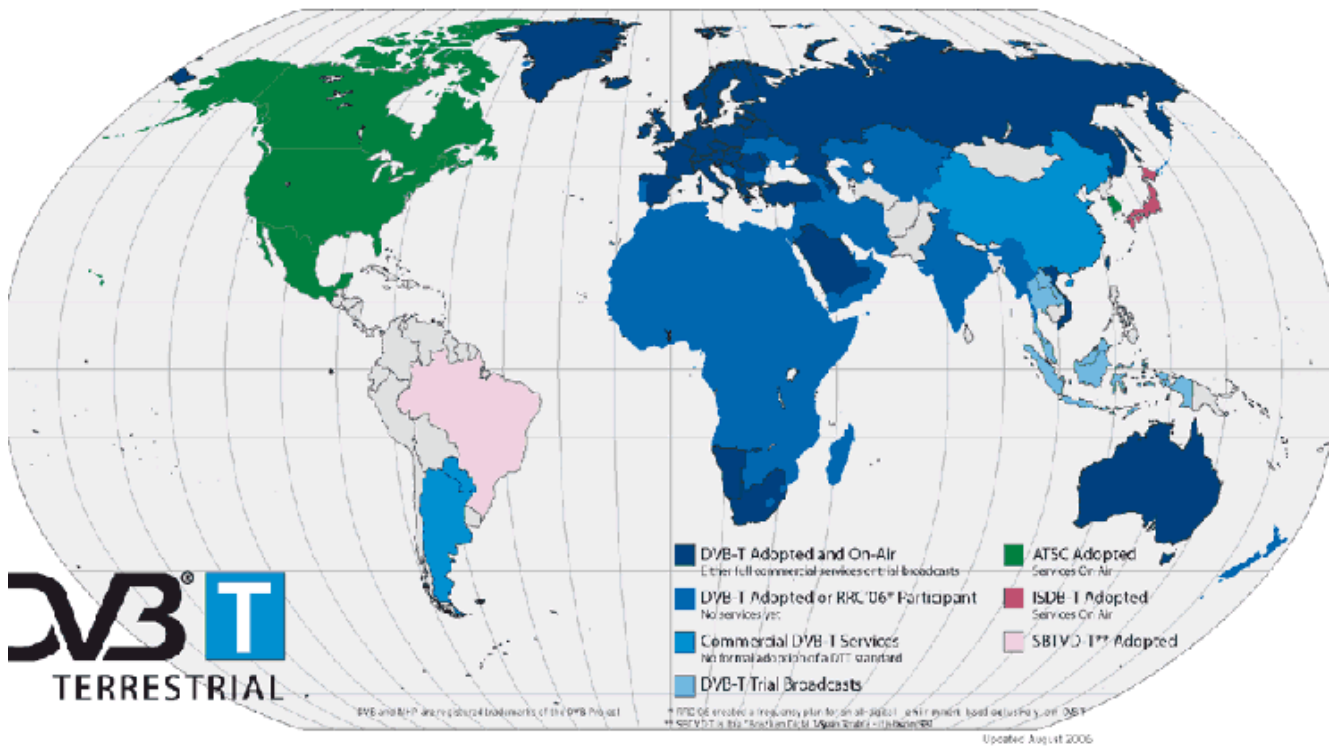
Resumiendo las principales características de cada estándar descrito anteriormente en la Tabla 1.6, se muestran algunas de ellas. [5]

Tabla 1.6 Tabla comparativa de los tres estándares. [5]

Principales características de los estándares DVB, ATSC e ISDB							
Estándar	Formato	Transporte	Modulación	Relación de Aspecto	Modo escaneo	Calidad audio	Países*
DVB	HDTV, vía satélite	MPEG-2, MPEG-4	QPSK, COFDM, QAM	4:3 16:9	Entrelazado / Progresivo	Dolby Digital 5:1	Europa principalmente
ATSC	SDTV HDTV	MPEG-2, MPEG-4	8-VSB, 16-VSB	16:9	Entrelazado / Progresivo	Dolby Digital ACC-3	EUA, Canadá, México, Corea del sur, Honduras
ISDB	SDTV HDTV	MPEG-2	PSK, COFDM, CDM, PSK/QAM	16:9	Entrelazado / Progresivo	MPEG-2 ACC-3	Japón

1.2.4 Estándares DTV-T adoptados internacionalmente

Con el surgimiento de diferentes estándares para la transmisión digital de sistemas de televisión donde cada uno de ellos cuenta con características propias que los convierten en más o menos atractivos de acuerdo a sus posibilidades, cada país ha optado por adoptar el estándar que mas le conviene de acuerdo a sus posibilidades tecnológicas así como sus conveniencias económicas. En la figura 1.4 se muestra una distribución de los estándares terrestres alrededor del mundo. [5]



- DVB-T adoptado por aire
- DVB-T sin servicios
- DVB-T servicios comerciales
- DVB-T difusiones de prueba
- ATSC servicios comerciales
- ISBD-T servicios comerciales
- SBTVD-T adoptado

Figura 1.4 Estándares adoptados alrededor del mundo. [5]

1.2.5 La televisión digital terrestre en Latinoamérica (TDT)

En Brasil, ya se ha comenzado a reemplazar la TV Analógica por la TDT. Si bien no se presenta alguna anomalía, el cambio de modalidad (desde analógico a digital) se produce con mucha rapidez.

En Argentina todavía (al 21/diciembre/2006) no se ha definido el estándar a utilizar en la TDT ni tampoco cuando ocurrirá el cambio de analógico a digital.

En México, en la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara ya existen 3 cadenas que emiten señales en TDT, Multimedios, Televisa y TV Azteca.

En Chile, está en procedimiento de la definición del estándar para marzo del 2007. El cambio a la TDT sería dentro de ese mismo año o el 2008. TVN había realizado pruebas previas y actualmente lo hacen Chilevision y Canal 13.

En Perú, en el mes de noviembre de 2006, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha publicado en el diario oficial *El Peruano*, una norma sobre la TDT y las bases para iniciar las transmisiones experimentales, en tal sentido se ha fijado la reserva de la banda 470-584 MHz, correspondiente a los canales desde el 14 hasta el 32, para el desarrollo de la TDT. [6]

1.3 Televisión digital por cable

1.3.1 Componentes de un sistema de Televisión Digital por Cable

La televisión por cable se ha especializado en la transmisión de numerosos canales de televisión en un espectro aislado (cable coaxial o fibra óptica). La topología típica utilizada tiene una máxima eficiencia y se le conoce como topología tipo árbol. Dentro de esta topología es posible distinguir cinco partes principales, como se muestra en la Figura 1.5:

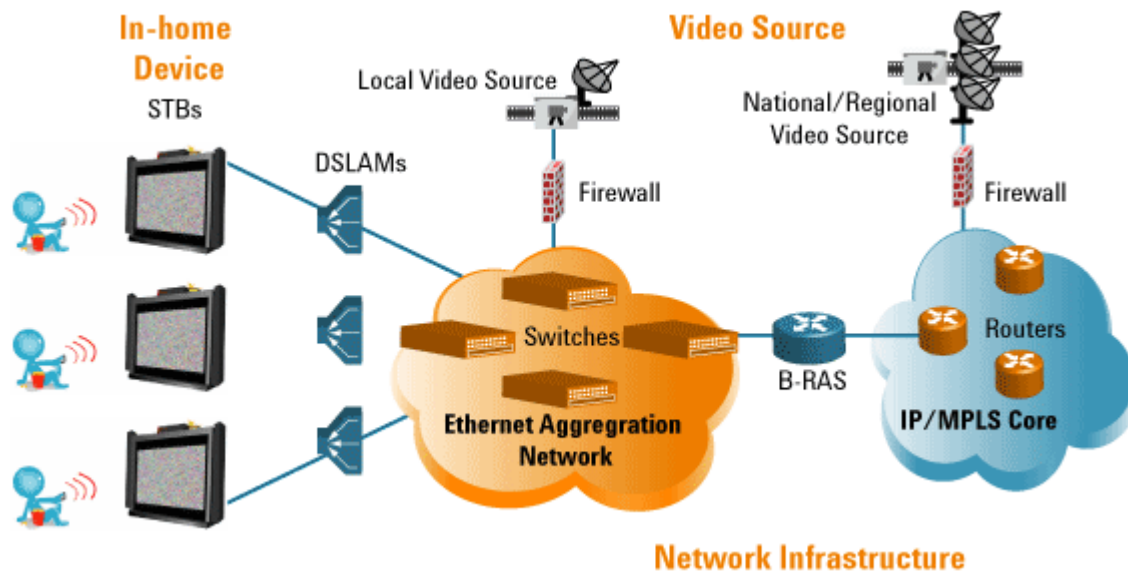


Figura 1.5 Topología de red para TV Digital. [1 IPTV]

- cabecera
- red troncal
- red de distribución
- acometida y
- equipo terminal

Cabecera (Centro de Recepción y Control o CRC): es el punto de origen de las señales a transmitir y la fuente de todos los programas disponibles. La cabecera cuenta con antenas

parabólicas para recibir señales satelitales, antenas de alta ganancia para televisión abierta, máquinas de video tape para reproducir material grabado y estudios de producción (sólo en algunos casos).

La cabecera de una red de cable es la principal fuente de control y representa la raíz de la topología de árbol. A partir de ésta, la señal se entrega al suscriptor mediante la red troncal del sistema de cable, que forma las ramas principales de la topología de árbol. Una cabecera puede dar servicio a una o a varias localidades conectadas por el sistema de red troncal; generalmente las "extensiones" o "ampliaciones" a poblaciones cercanas utilizan el mismo CRC.

Red Troncal: transporta la señal a la zona que requiere del servicio. Se busca conservar la calidad de la señal, utilizando equipos amplificadores. Se debe contar con un mapa de distribución para la red antes de empezar a construir y se deben considerar los lugares por donde pasará la red, la longitud del cable requerido y la distancia entre los postes.

El objetivo principal de la red troncal es cubrir grandes distancias manteniendo la calidad de la señal. En la red troncal por lo general se utiliza cable de 1" o de 3/4". La red troncal abarca alrededor del 12% del cableado total de la red. El número de amplificadores troncales que se colocan en cascada en la red troncal por lo general oscila entre 20 y 30 en redes de gran capacidad y hasta 60 en redes de menor ancho de banda.

La fibra óptica está sustituyendo al cable coaxial en esta sección de la red de cable, debido a que se puede eliminar gran parte del ruido del sistema así como la distorsión que aportan los amplificadores en cascada. Sin embargo, la red de distribución y la acometida siguen utilizando cable coaxial. Los sistemas que tienen ambos métodos (fibra óptica y coaxial) se conocen como redes Híbridas Fibra/Coaxial (HFC).

Red de Distribución: se conecta a la red troncal mediante amplificadores y pasa por enfrente de las casas, generalmente a un lado de los cables de luz. Su propósito es llevar las señales hasta las instalaciones del suscriptor.

Del amplificador, la red de distribución entrega la señal a una serie de "taps" a los que se conectan las acometidas; si el nivel de la señal llegara a decrecer, se coloca un extensor de línea (también conocido como amplificador de distribución) para incrementar el nivel de la señal de forma que llegue adecuadamente al siguiente "tap". La red de distribución comúnmente trabaja con cable coaxial de 1/2".

Acometida: es un cable coaxial flexible, utilizado para llevar la señal desde el cable de distribución hasta la casa del usuario. Las acometidas requieren de una conexión al sistema de tierra de la construcción y de un cable flexible entre la entrada y el receptor (televisión); si hay múltiples receptores en una instalación se utiliza un divisor de señales.

Equipo Terminal (Caja Decodificadora): acondiciona la señal para poder ser reproducida en una televisión no fabricada con la capacidad de desplegar todos los canales que el cable transporta, o bien, sirve como filtro para proporcionar al suscriptor únicamente los canales que ha pagado. El uso de las cajas direccionables ("addressables") permite la provisión de distintos paquetes al usuario y, eventualmente, la desconexión de suscriptores que no paguen por el servicio.

1.3.2 Transmisión de datos a través de una red de cable

Todas las empresas modernas requieren la transferencia de datos de una estación de trabajo a otra. Muchos operadores de cable tienen la capacidad de operar transferencias de datos a altas velocidades. La transferencia de datos se utiliza para las transmisiones de señales digitales a través de cablemódems para televisión digital, para Internet de alta velocidad y para selecciones de pago por evento.

La aplicación de servicios de transmisión de datos requiere de redes bidireccionales, en las que la información pueda viajar en ambos sentidos. Para ello se requiere la instalación de un canal de retorno en las redes de cable. Una de las ventajas de las redes de cable es que es posible combinar, dentro de la misma red, servicios digitales de transmisión de datos con servicios analógicos de televisión. En las cabeceras y en los equipos terminales se colocan filtros que pueden hacer la separación de las señales de televisión de las de datos. Los cablemódems utilizan la especificación técnica y operativa diseñada por "CableLabs" para que estos sean compatibles, conocida como DOCSIS (Especificación de la Interfaz del Servicio de Datos por Cable). La Figura 1.6 muestra un segmento del usuario en un sistema de transmisión de datos por cable. [2]

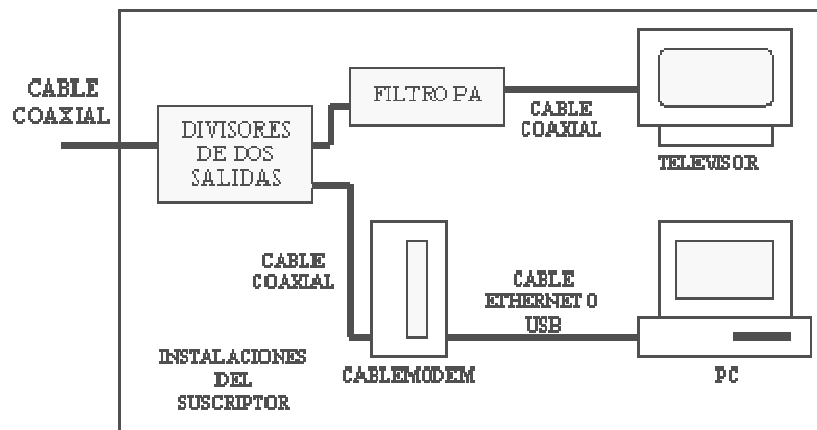


Figura 1.6. Segmento del usuario en un sistema de transmisión de datos por cable. El cable coaxial llega al suscriptor por la acometida donde en este ejemplo pasa por un divisor de dos salidas para distintas aplicaciones, un televisor y una computadora; para el primer servicio es necesario hacer pasar la señal por un filtro pasa altas para darle paso únicamente a la señal con la información que el televisor necesita para desplegar la imagen; mientras que para la PC la señal llega a un MODEM para adaptar la señal que requiere el procesador de la computadora. [6]

1.4 Triple Play

1.4.1 Convergencia de las redes por cable

Los antiguos sistemas de televisión por cable en México, ahora redes de telecomunicaciones por cable, han atravesado por un fuerte proceso de convergencia tecnológica y de servicios en la última década. Este proceso ha sido particularmente intenso en los dos últimos años, en los que las empresas de cable han trabajado en la modernización de sus redes, para ofrecer a sus clientes servicios de video, voz y datos a través de una misma infraestructura de telecomunicaciones. Esta triada de servicios que

comprende a la televisión de paga, al Internet de banda ancha y a la telefonía se conoce como "Triple Play".

Las redes de televisión por cable en México suman más de 80,000 kilómetros de red y le dan servicio a cerca de 3 millones de suscriptores. Con el triple de suscriptores que la televisión restringida por satélite (DTH) y el cuádruplo de los de televisión restringida por microondas (MMDS), 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 sobre Demanda (VoD), video juegos y televisión digital de alta definición.

La convergencia puede entenderse en al menos dos sentidos distintos pero complementarios: convergencia de servicios y convergencia de tecnologías. La convergencia de servicios se refiere a la confluencia dentro de la infraestructura de telecomunicaciones de un mismo proveedor de servicios que, hasta hace poco tiempo, se entendían como independientes y provistos cada uno de ellos por un operador de telecomunicaciones distinto. El servicio telefónico, el de televisión de paga y la proveduría de servicios de Internet están ahora al alcance de los clientes de un sólo proveedor de telecomunicaciones.

Por su parte, la convergencia tecnológica se refiere a la integración, dentro de un mismo dispositivo de telecomunicaciones, de tecnologías inicialmente identificadas con servicios específicos. Las tecnologías de las computadoras, las televisiones, los aparatos telefónicos y las redes de datos se combinan para ofrecer dispositivos multimedia capaces de identificar y procesar señales asociadas a distintos servicios de telecomunicaciones. En este sentido, la transición de las tecnologías analógicas hacia las digitales ha favorecido este proceso de integración tecnológica.

1.4.2 Conformación de la red de servicios Triple Play

Una red de multiservicios como la que ofrece el sistema Triple Play es como el que se muestra en la figura No 1.7. [7]

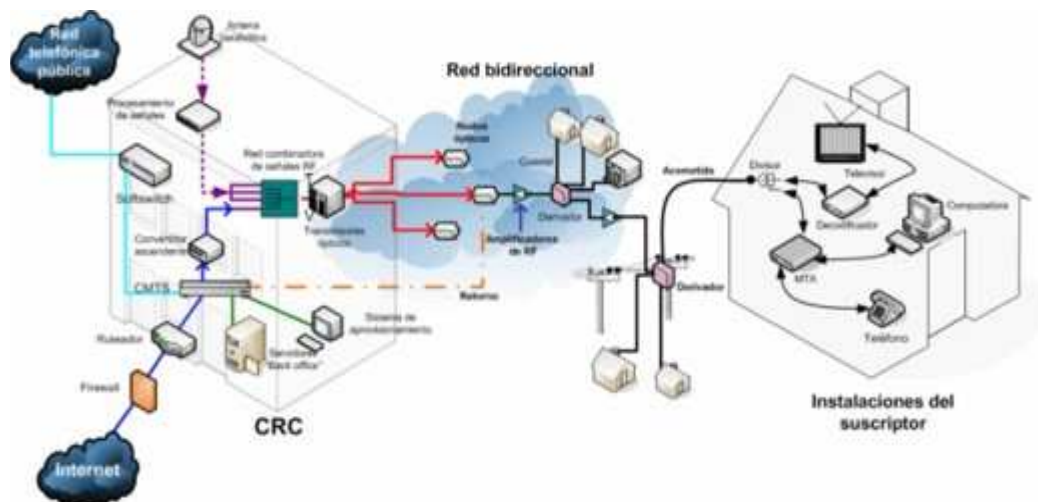


Figura 1.7 Infraestructura de un sistema Triple Play. [7]

En el Centro de Recepción y Control (CRC) de las redes de cable se reciben las señales de televisión que han de transmitirse a los suscriptores y se instalan los equipos de comunicación, administración y control de los servicios de telefonía y acceso a Internet de banda ancha. Las señales de estos servicios viajan a través de la red bidireccional hasta las instalaciones del suscriptor. Ahí las señales del cable se dividen para alimentar y alimentarse de los equipos destinados a los servicios de video, voz y datos.

1.4.3 Características y ventajas de una red Triple Play

Las redes de televisión por cable tienen varias características que las hacen particularmente atractivas para albergar múltiples servicios y darle cabida a la convergencia:

Gran capacidad de transmisión. A diferencia de otras redes de telecomunicaciones, las redes de televisión por cable están diseñadas para poder transmitir grandes cantidades de información, ya sea video en múltiples formatos, imágenes de alta resolución, audio de alta definición o datos a alta velocidad.

Acceso a la última milla. Las redes de cable llegan directamente hasta las instalaciones de sus clientes sin necesidad de utilizar infraestructura de terceros. Esto redundo en menores costos de los servicios y, por lo tanto, mejores precios para los suscriptores.

Identificación del cable con sus clientes. Particularmente en las pequeñas poblaciones, las redes de televisión por cable incluyen contenidos locales y regionales que les permiten acercarse más a las comunidades a las que sirven. Los operadores de cable con frecuencia incluyen noticieros locales y difunden eventos de la localidad.

Integración de tecnologías inalámbricas. Las tecnologías inalámbricas pueden combinarse dentro de las redes de cable para ofrecer las ventajas de movilidad o servicio nómada. Los "hot spots" para acceso a Internet o el complemento de servicios de telefonía móvil, a través de tecnología WiFi (Wireless Fidelity), son algunas de las posibilidades de integración de tecnologías inalámbricas en las redes de cable.

Como beneficios de una red integrada de servicios podemos numerar las siguientes:

- Servicios facturados en un solo recibo de pago.
- Trato con un solo proveedor de telecomunicaciones.
- Reducción de precios al adquirir paquetes de varios servicios.
- Integración de múltiples servicios en un número reducido de dispositivos de comunicación.
- Facilidad para integrar nuevos servicios y tecnologías dentro de la misma plataforma de comunicaciones.

1.4.4 La Industria y los retos ante la convergencia

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, WiFi y WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 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.

La convergencia de servicios de telecomunicaciones impone retos a los industriales del cable, tanto tecnológicos, económicos y organizacionales. Desde el punto de vista tecnológico, las redes de cable se convierten en redes bidireccionales de datos de alta velocidad y habilitan sus instalaciones con los equipos necesarios para ofrecer los nuevos servicios digitales. Este proceso de reconversión tecnológica se traduce en una inversión de la industria del cable que supera los 40 millones de dólares, sólo para habilitar el canal de retorno y equipar a los centros de recepción y control (cabeceras) con la infraestructura necesaria para proveer servicios de acceso a Internet de banda ancha. La provisión de otros servicios como telefonía y servicios digitales avanzados implican inversiones superiores a los 100 millones de dólares en todo el país.

La convergencia de tecnologías inalámbricas dentro de las redes de cable ofrece también la posibilidad de que los cableoperadores se conviertan en operadores de telefonía móvil. A esta nueva modalidad se le ha llamado el "Quadruple Play". De hecho, la inclusión de múltiples servicios dentro de las redes de cable como video sobre demanda (VoD), video juegos, música digital, televisión digital (DTV), televisión digital de alta definición (HDTV) y otros servicios digitales avanzados se dirige hacia un "Multiple Play".

Las compañías de cable que operan en ciudades como México, Guadalajara, Monterrey o Cancún ofrecen ya a sus clientes, en adición a la televisión por cable, servicios de acceso a Internet de banda ancha y televisión digital. Varias redes de cable están ya listas para ofrecer servicios de video juegos, música digital y video sobre demanda.

La tecnología IP (Internet Protocol) seguirá ampliando su cobertura hacia nuevos servicios. La televisión IP (IPTV) es ya una realidad en Estados Unidos, en Europa y en varios países asiáticos. Al día de hoy 300,000 casas cuentan con servicios de video ofrecidos por telefónicas en los Estados Unidos y existen más de 250 comunidades de IPTV. En Hong Kong existen más de 350,000 suscriptores de IPTV y más de 1.5 millones de suscriptores de video sobre demanda (VoD) por IP. Se estima que para finales del 2007 unas 27 millones de casas contarán con servicios de IPTV en todo el mundo.

En última instancia, la convergencia en telecomunicaciones llama, al menos en el corto y mediano plazos, a una nueva etapa de intensa competencia en beneficio de los usuarios finales. [7]

1.4.5 Proveedores de servicios de telecomunicaciones en México

En México existen proveedores de los distintos servicios de telecomunicaciones, siendo la televisión la que más mercado consume y más infraestructura tiene a lo largo del territorio nacional. De la misma manera son las cableoperadoras las que cuentan con un amplio margen y facilidades en su infraestructura para brindar además del servicio de televisión, servicio telefónico, contenido multimedia, video sobre demanda, Internet de banda ancha, etc. Lo que representa un prometedor futuro y captación de nuevos clientes, ya que México cuenta con 598 redes de televisión por cable, lo que representa mas de 3 millones de suscriptores en televisión y mas de 288 mil en Internet. Según la SCT. [8]

Entre los principales proveedores de televisión por cable tenemos:

- cablecom
- MEGACABLE
- TELECABLE
- Cablemas
- hi Telecomunicaciones
- Cablevision
- Televisable del Centro

Ante este reto, las telefónicas necesitan invertir en tecnología para poder hacer frente a los nuevos retos, lo cual implica una considerable inversión principalmente en tecnología de gran capacidad y alta velocidad, es el caso de ADSL2+ o VDSL.

Entre los principales proveedores de telefonía en México tenemos:

- Alestra
- Avantel
- Axtel
- Marcatel
- Maxcom
- Metrored
- Miditel
- Protel
- Startel
- Telmex
- Telnor
- Uefon (teléfonos móviles para domicilios)

Siendo Telmex la empresa dominante, cubriendo el 90% del mercado nacional. [8]

II. Sistema IPTV

2.1 IPTV (Internet Protocol Television)

No sólo la telefonía está sufriendo una drástica transformación por el rápido desarrollo e implantación de sistemas de Voz sobre IP (VoIP), también la industria de la televisión enfrenta un interesante reto con la transmisión de Televisión por IP, mejor conocida como IPTV. Esta tecnología transformará la televisión actual en una experiencia totalmente personalizada, por supuesto sobre conexiones entre 10 y 1000 veces más rápidas que las existentes y con ancho de banda reservado para garantizar la calidad del servicio (QoS) y entregar una mejor experiencia de entretenimiento.

El cambio consiste en que los canales de televisión ya no transmitirán la misma programación para todos los usuarios. De esta manera, el proveedor de televisión no transmitirá continuamente su programación esperando que algún usuario se conecte al sistema. Con IPTV el contenido únicamente llegará al usuario cuando éste lo solicite, tal y como se observa en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Esquema de distribución de programación con IPTV

Esta nueva modalidad exigirá más ancho de banda disponible en el sistema para ofrecer, de manera sencilla y eficiente, servicios de televisión digital de siguiente generación sobre la red existente de banda ancha basada en IP. El sistema prácticamente podrá individualizar a cada suscriptor, dar seguimiento a sus consumos y hacer mediciones de *rating* prácticamente perfectas.

Entre los posibles servicios de IPTV se encuentra la oferta ilimitada de canales de televisión digital y música, programación de pago por evento, video sobre demanda, video sobre demanda por suscripción, grabación personalizada de video (PVR), publicidad interactiva y servicios de información, entre otros. Cada programa especial tiene un costo extra y para acceder a él habrá que descargar el contenido, hecho que puede durar desde minutos hasta horas dependiendo del ancho de banda de la conexión de acceso (xDSL o por cable). Algunas cajas receptoras cuentan con la funcionalidad de almacenamiento de varias horas de programación para observarla tantas veces como se quiera.

El principal objetivo es un sistema de televisión que incluya cientos de canales y opciones para el suscriptor, tales como programas y películas de estreno que podrán ser descargados en cuestión de horas o minutos (películas y programas de TV respectivamente) después del estreno en cartelera y/o televisión; para así crear una auténtica variedad en la oferta televisiva con opciones para todos los gustos.

Otra de las virtudes de IPTV radica en que el suscriptor podrá manipular la programación no sólo para almacenarla y verla cuando lo desee, sino que además podrá hacer pausa, detenerla, adelantarla, regresarla o saltar a otra parte del programa, todas las funcionalidades típicas de una reproducción con un reproductor de video.

Si bien aún falta tiempo para que este cambio sea una realidad, el reto actual es la migración de las redes hacia sistemas de alta velocidad. Esto aplica tanto a las redes de compañías telefónicas que pretenden ofrecer IPTV vía DSL como a los operadores de cable que deberán integrar cajas decodificadoras de próxima generación. Lo anterior implica una gran inversión en tecnología que va desde la renovación del tendido de red hasta la instalación de adaptadores que utilicen el protocolo IP.

La capacidad estimada para servicios IPTV se asume en 1.5 Mbps por cada canal de definición estándar (SDTV) y 8 Mbps por cada canal de alta definición (HDTV). Para tres canales simultáneos el ancho de banda bruto resultante es de 4.5 Mbps para un servicio básico ó 11 Mbps se si incluye un canal HDTV, en ambos casos utilizando tecnología MPEG-4 para la codificación/compresión de la señal de video. Faltaría agregar el ancho de banda contratado para la conexión a Internet, que por baja que sea ya implica la necesidad de manejar tasas de acceso de muy alta capacidad. Ver Tabla 2.1 [2]

Tabla 2.1 Tasas de velocidades de un servicio básico de IPTV. [2]

Servicio	Tasa de Transmisión	Conexión a Internet	Capacidad Total Requerida
Paquete Básico (3 canales SDTV)	4.5 Mbps	1 Mbps	5.5 Mbps
Paquete Básico con HDTV (2 canales SDTV + 1 canal HDTV)	11 Mbps	1 Mbps	12 Mbps

IPTV es diferente al video por Internet, que simplemente nos permite visualizar videos disponibles en algún sitio web, como promocionales de películas o de fuentes como web-cam sobre el protocolo TCP trabajando bajo la filosofía del mejor esfuerzo, lo que implica considerar bajos niveles en la calidad de servicio (QoS) no garantizando un servicio óptimo.

Así, la tecnología IPTV integrada con tecnologías DSL (Digital Subscriber Line), (ADSL2, ADSL2+ Y VDSL), ofrecen atractivas oportunidades para los proveedores de servicios de telecomunicaciones, permitiéndoles efectivamente incursionar al mercado TRIPLE PLAY y brindar servicios de voz, video y datos a empresas y particulares. [9]

2.2 Estructura del sistema IPTV

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: Figura 2.2. [2]

1. Adquisición de señales de video
2. Almacenamiento y servidores de video
3. Distribución del contenido
4. Equipo de acceso y de suscriptor
5. Software

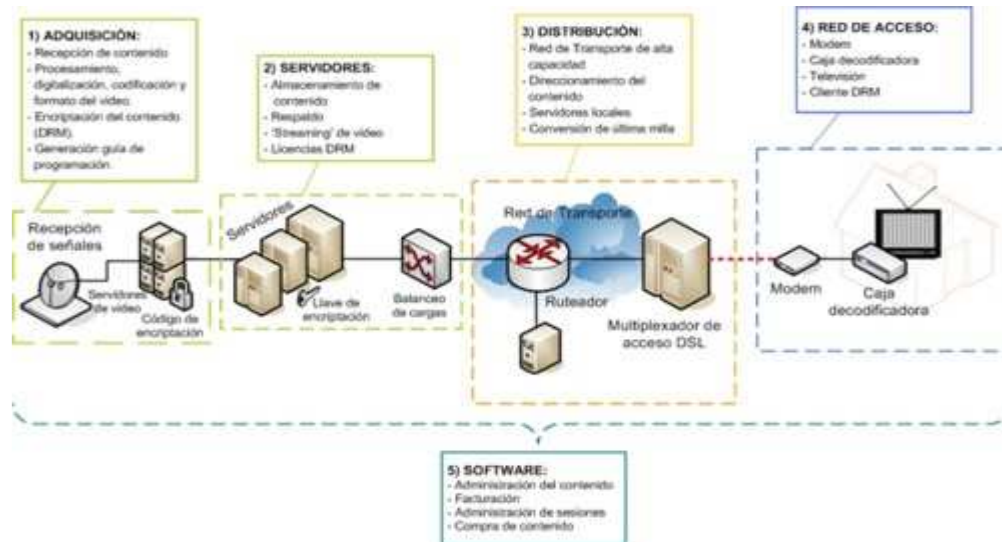


Figura 2.2 Módulos de la arquitectura para la transmisión de video [2]

A continuación, la Figura 2.3 ilustra una arquitectura de un sistema genérico de IPTV en forma de bloques, que soporta aplicaciones como TV digital y video sobre demanda (VoD). Esta arquitectura se basa en las especificaciones de la recomendación del estándar de la ITU H.610 y en la plataforma IPTV ofrecida por los líderes de la industria en el ámbito, como por ejemplo Microsoft Corporation. [9]

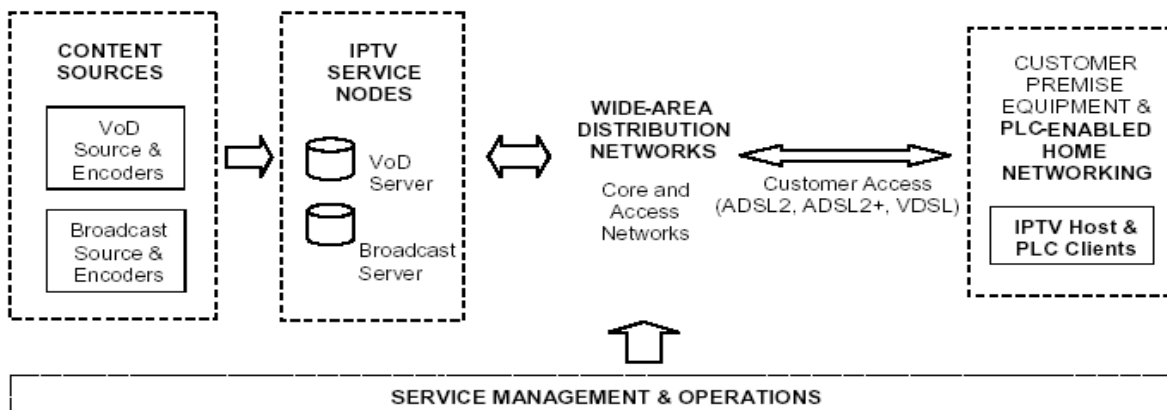


Figura 2.3. Arquitectura de un sistema genérico IPTV [9]

Como se observa en la Figura 2.3, se 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, la red de acceso para entregar el contenido al suscriptor. [2]

2.2.1 Componentes funcionales de la arquitectura IPTV

Fuentes de Contenido. La Fuente de Contenido representa la etapa en la que se recibe el contenido de video por parte de Internet, de algún proveedor de contenidos o de un distribuidor de señales de televisión digital y/o analógica, codifican el contenido y almacenan el contenido en bases de datos de adquisiciones en el caso de VoD. [9]

Nodos de Servicios o Servidores. Los nodos de servicio o servidores cumplen con la función de recibir las cadenas de video en varios formatos, para posteriormente reformatearlos y encapsularlos para una transmisión adecuada de acuerdo a los parámetros establecidos por la Calidad de Servicio (QoS) de la red WAN. Los nodos de servicio comunican a los CPEs (Customer Premises Equipment) para la administración de servicios, así como también con el servicio IPTV para los suscriptores, sesiones y la administración de los permisos. [9]

Es el servidor de licencias DRM (Digital Rights Management) precisamente el que administra los permisos para desbloquear contenido, autoriza y reporta transacciones y remite el video a los usuarios autorizados. 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. Los sistemas 'streaming' requieren más esfuerzo del servidor y también requieren mayor ancho de banda de la red.

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 sobre demanda se puede almacenar en servidores locales para ofrecer contenido a una porción específica de la red.

Finalmente, se emplea el balanceo de cargas para evitar la saturación mediante la distribución de la demanda de video entre los servidores y controlar las sesiones de descarga del mismo.

Es importante notar que a diferencia de un sistema de televisión por cable, en los sistemas IPTV no se hace combinación de señales porque el contenido se envía de manera independiente a cada suscriptor, a través de flujos individuales de video. El equipo está totalmente basado en plataformas de servidores con sistemas operativos tipo Linux y Windows y no tiene lugar el sistema de acceso condicional, porque la autenticación se hace a través de los servidores DRM. [2]

Las etapas de adquisición y servidores se localizan en la cabecera del sistema, la cual a su vez está compuesta por distintos módulos para realizar diversas funciones. [2]

Redes WAN (Wide Area Network). Brinda la capacidad de distribución, calidad de servicio entre las más importantes. Las redes de Core y Acceso incluyen un backbone a

través de fibra óptica y varios multiplexores de acceso DSLAMs ubicados en oficinas centrales o puntos de distribución remotos. [9]

La figura 2.3 también hace referencia a 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.

Actualmente se usan protocolos estándares Gigabit Ethernet para transportar el contenido a través de la red del proveedor de servicio. Es la red de transporte la responsable de garantizar la calidad de servicio del transporte, lo cual incluye monitoreo de la sesión y administración del equipo involucrado en el servicio. En caso de no poder garantizar la calidad de servicio, la red de transporte se extiende hacia el usuario a través de servidores de borde locales *FHR (First Hop Routers)*, *LHR (Last Hop Router)* con capacidad adicional para almacenar el contenido. Esto implica la copia redundante de contenido en puntos de presencia local donde el proveedor de servicio establece conexión con su red de transporte de banda ancha. [2]

FHR. 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 lo 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. 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.

Enlaces de Acceso a Clientes. La entrega del servicio IPTV al cliente es por medio de la infraestructura existente y las líneas telefónicas que llegan hasta los hogares es el medio por el cual las tecnologías de transporte de alta velocidad como ADSL2+ y VDSL llevan el contenido. En la tabla 2.2 se resumen las limitaciones en distancias y ancho de banda para las tecnologías DSL. Así los proveedores de servicios podrán realizar una implementación híbrida entre tecnologías DSL y fibra óptica, implementando lo que se le conoce como acceso FTTH (Fiber To The Home) dependiendo de los requerimientos del cada servicio.[9] La red de acceso es también el punto en el que termina la red de transporte de la compañía telefónica y comienza el sitio del suscriptor. En esta interfaz se coloca el equipo receptor o caja decodificadora habilitada para desplegar el contenido en una televisión convencional. [2]

CPE (Customer Premises Equipment). En el contexto de IPTV, el dispositivo CPE ubicado en las instalaciones del cliente, brinda una funcionalidad del mínimo ancho de

banda en la terminación de red, incluyendo otras funciones integradas como gateway, STB y capacidad para interconexiones de red local. [9]

El Software. Es el responsable de presentar algunas funcionalidades del servicio al usuario final, de modo gráfico y amigable, como la guía de programación interactiva que corre en la caja digital del suscriptor, la creación de ofertas de servicios 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/copia digital. [2]

Cliente IPTV. El cliente IPTV es la unidad en la cual termina el tráfico de la red, es decir, en las instalaciones del cliente. Éste es un dispositivo como un STB que realiza el procesamiento funcional, incluyendo la conexión y QoS con el nodo de servicio, decodifica las cadenas de video, cambio de canal, control de la visualización del usuario y conexiones a los dispositivos del cliente como monitores SD o HDTV. [9]

Tabla 2.2 Características de acceso de las tecnologías DSL para IPTV

Tecnologías de Acceso	ADSL	ADSL2	ADSL2+	VDSL
Tasa de bajada (CO → Customer)	Hasta 8 Mbps	Hasta 12 Mbps	Hasta 24 Mbps	Hasta 52 Mbps
Tasa de subida (Customer → CO)	Hasta 640 kbps	Hasta 1 Mbps	Hasta 2 Mbps	Hasta 6 Mbps
Distancia (CO → CPE)	Hasta 18000 ft	Hasta 12000 ft	Hasta 9000 ft	Hasta 1000 ft
Estándar (ITU)	G 992.1, G 992.2	G 992.3, G 992.4	G 992.5	H.610 – H.619

2.2.2 Aplicaciones y servicios IPTV

Entre las principales aplicaciones disponibles en un sistema IPTV, podemos mencionar video teléfono, video conferencia, educación remota, seguridad en casa como cámaras de monitoreo, por mencionar algunos; aparte de los tradicionales servicios que Internet ya te ofrece (e-mail, música, etc.), tal como se muestra en la figura 2.4. [9]



Figura 2.4. Gama de servicios disponibles en un sistema de televisión por IP. [9]

2.3 Herramientas de codificación

Para digitalizar, codificar y comprimir el video analógico, o procesar y convertir el video digital al formato empleado por el codec de video del sistema, se requieren codificadores que además permiten que el flujo de video pueda ser transportado por IP y recibido por la caja decodificadora del suscriptor. El codificador, comúnmente denominado codec (codificador/decodificador) es un dispositivo o módulo de software que habilita la compresión de video digital, con o sin pérdidas. La elección del codec 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.

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 por la ITU-T (International Telecommunications Union) para los primeros productos de videoconferencia y videotelefonía. Fue la base para los formatos subsecuentes.
- MPEG-1 se convirtió en un estándar ampliamente conocido y utilizado en una gran cantidad de productos y servicios relacionados con el manejo de video, sobre todo porque su calidad es muy cercana al formato VHS; sin embargo la calidad no se deteriora porque es una tecnología digital. Se convirtió en el codec más compatible dado que cualquier computadora personal podría ejecutarlo y muy pocos reproductores de DVD no lo soportaban.
- El formato que procedió a la primera versión, MPEG-2, se difundió rápidamente por su uso en el DVD y en los sistemas de distribución de video. Ofrece buena calidad de imagen y, a diferencia de los formatos anteriores, soporta una imagen de pantalla completa. Actualmente se le considera un codec viejo pero todavía con mucha aceptación y amplia base instalada en el mercado.
- Con el tiempo surgió H.263 específicamente para videoconferencias, videotelefonía y video por Internet. Representó un significativo paso hacia la compresión estandarizada, especialmente a bajas tasas de transmisión con buenos niveles de fidelidad.
- Sin embargo, para usos más generales como Internet, difusión de video y medios de almacenamiento, el formato MPEG sigue siendo de gran importancia. La versión MPEG-4 Parte 2 ofrece una calidad mejorada con respecto a MPEG-2 y la primera versión de H.263. Sus mejoras técnicas consistieron en agregar funcionalidades para la codificación orientada a objetos y otras que modificaciones que surgieron de los estándares anteriores.
- MPEG-4 Parte 10 es un estándar técnicamente alineado con H.264 al que también se conoce como AVC (Advanced Video Coding). Este nuevo formato es el actual estado del arte de la tecnología de compresión estandarizada por la ITU y MPEG, y en poco tiempo ha sido adoptado en una amplia variedad de aplicaciones. Contiene un gran número de avances en cuanto a la capacidad de compresión y fue adoptado por productos como el PlayStation Portátil, la gama de reproductores Nero Digital y la próxima versión de Mac OS X v10.4, entre otros.

- La familia de formatos de Windows, WMV (Windows Media Video) incluye la versión 7, 8 y 9 para aplicaciones de baja resolución de video como los usuarios de conexiones a Internet convencionales, vía telefónica, hasta aplicaciones de alta definición. Este formato puede visualizarse como una mejora del codec MPEG-4 que permite grabar archivos de video en CDs o VDs, así como desplegarlos en un gran número de dispositivos. La última generación de WMV aún se encuentra en proceso de estandarización.
- Otros codecs conocidos desarrollados por diversas empresas orientadas a la manipulación de video, son el RealVideo, Sorenson 3, Cinepak, VID, DivX y Ogg Theora. [2]

2.4 Escenarios de distribución casera de IPTV.

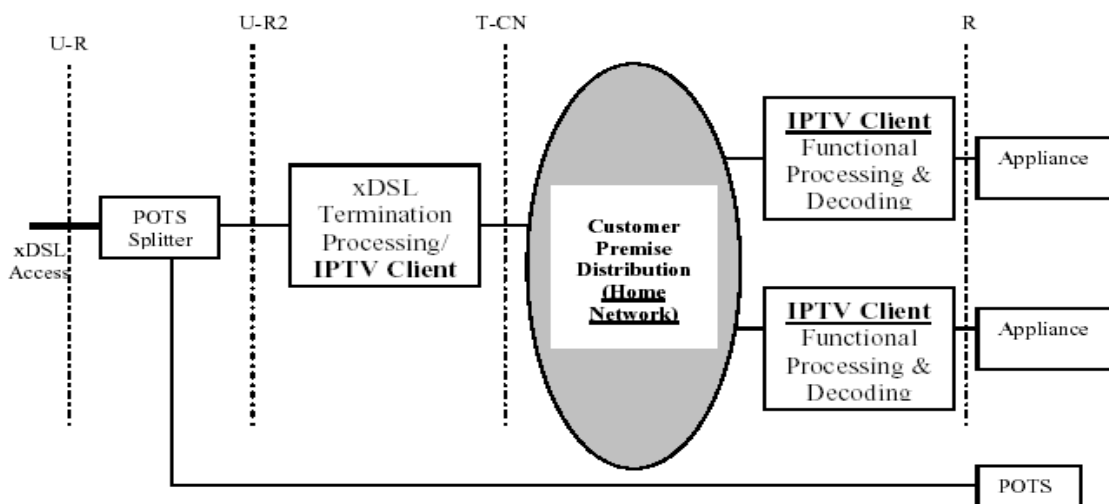


Figura 2.5. Modelo de distribución genérica de un sistema IPTV en las instalaciones de un cliente. [9]

La figura 2.5 muestra una arquitectura genérica de una red local IPTV. Donde la señal analógica de telefonía convencional mejor conocida como POTS (Plain Old Telephone Service), es removida de la señal xDSL en el splitter, conservando el servicio telefónico existente. El módulo de Procesamiento/Terminación xDSL, incluye básicamente un MODEM y opcionalmente funciones integradas adicionales.

A continuación se presentan algunos escenarios posibles en la conectividad de la red local en el servicio IPTV.

2.4.1 Red casera IPTV sin tráfico

Como se muestra en la figura 2.6, la funcionalidad del Set Top Box y el cliente IPTV asociado, son integrados en la misma caja en la unidad de Procesamiento/Terminación (xDSL modem), donde las interfaces del lado del cliente pueden ser Ethernet para las conexiones de Internet, puertos de voz para VoIP y la conexión estándar para TV. En este escenario el tráfico IPTV no atraviesa la red local. [9]

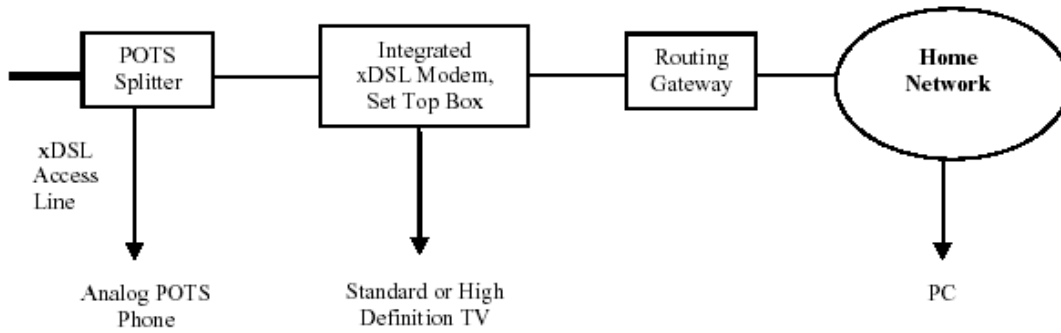


Figura 2.6. Distribución en la instalación del suscriptor.[9]

2.4.2 IPTV a través de la red casera

Como se muestra en la figura 2.7a y 2.7b, el MODEM xDSL y el STB no son integrados en un solo módulo. En ambos casos, las cadenas de video son transmitidas del xDSL MODEM al STB o monitor de TV sobre la red local. [9]

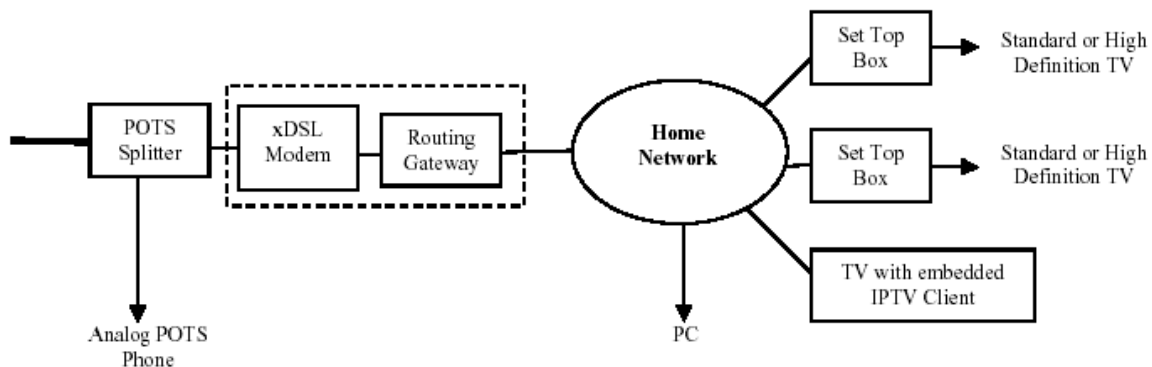


Figura 2.7a Red local utilizando STBs distribuidos y/o clientes IPTV. [9]

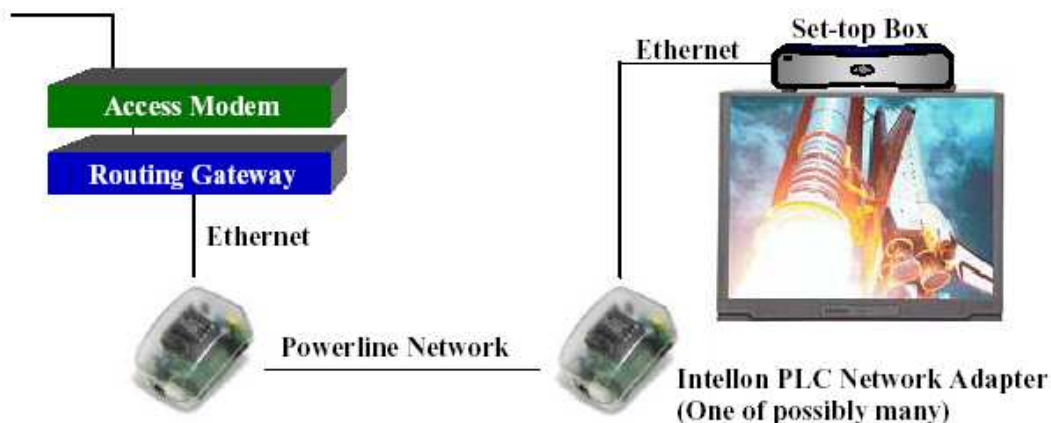


Figura 2.7b Red utilizada para la distribución de IPTV sobre tecnología Ethernet por medio de STBs o PLC bridges. [9]

2.4.3 Servidores Digitales Multimedia

En la figura 2.8 se muestra un ejemplo de la funcionalidad de un servidor digital multimedia, que no es más que parte de los dispositivos de entretenimiento en la ubicación del suscriptor, encargado del almacenamiento del contenido multimedia; equipos tales como Grabadores Personales de Video (PVR) y computadoras personales con gran almacenamiento de contenido multimedia. Esta funcionalidad puede ser implementada o integrada en el STB. Los requerimientos del ancho de banda de la red local se incrementan cuando un PVR es utilizado. [9]

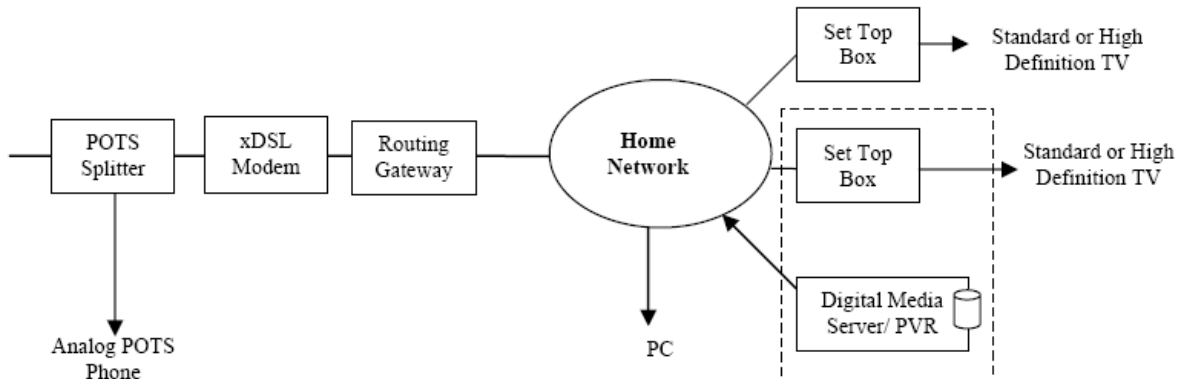


Figura 2.8. Ejemplo de distribución en las instalaciones del suscriptor. Mostrando un Servidor Digital Multimedia con PVR. [9]

2.5 Tecnologías de distribución para IPTV

Una vez que se va a instalar el sistema IPTV a un suscriptor, el proveedor de servicios tiene que considerar la manera óptima de enlazar o interconectar los dispositivos de la casa, oficina, etc. a una conexión de banda ancha. Existen varias tecnologías de interconexión, las cuales utilizan el cableado existente como las líneas de corriente, líneas telefónicas, cables coaxiales; así como también las tecnologías inalámbricas son alternativas para la distribución de IPTV. Las tecnologías y estándares aplicables se resumen en la tabla 2.3. [9]

Tabla 2.3 Medios y estándares relacionados con la interconexión de IPTV en instalaciones del suscriptor. [9]

Medio	Estándar
Ethernet Cat 5	IEEE 802.3
Línea de corriente	Conector a la línea de corriente (HomePlug ®)
Línea telefónica	Conector a la línea telefónica (HomePNA ®)
Cable coaxial	Multimedia sobre coaxial (MoCA ®) HPNA sobre coaxial (HPNA3) TV sobre la red coaxial
Wireless	WiFi / IEEE 802.11x

Ethernet Cat-5. El cableado Ethernet Cat-5 es comúnmente utilizado en ambientes corporativos y de negocios, donde un equipo de red, como un hub o un switch, es conectado a las oficinas con una velocidad de 100 Mbps a cada terminal. Esta solución es

impráctica para clientes residenciales, ya que incrementaría considerablemente los costos al instalar nuevos dispositivos y cableado en dicha instalación.

2.6 IPTV en redes alámbricas e inalámbricas

Al implementar el sistema IPTV, es necesario tomar en consideración aspectos claves para el correcto desempeño del mismo, tanto en redes con cableado como en las que no lo tienen.

Capacidad / Ancho de banda

Como se ha mencionado anteriormente, la velocidad más alta que ofrece la tecnología xDSL como ADSL2+ y VDSL puede soportar velocidades de bajada de 24 Mbps directamente a la casa del suscriptor, aunque el ancho de banda actual para sistemas IPTV es menor debido al uso de cabeceras introducidas por los protocolos involucrados, como IP, TCP, UDP y ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Dependiendo del codec de video utilizado y los parámetros utilizados, un proveedor de servicios de IPTV puede entregar a un típico cliente las siguientes características:

- De tres a cinco canales de calidad estándar para TV (SDTV)
- Un canal adicional de alta calidad de TV (HDTV)

El ancho de banda de la red local, necesita ser lo suficientemente amplio para soportar el tráfico introducido por el sistema IPTV y cualquier otro tráfico que Internet genere, de igual manera cualquier otro tráfico generado localmente. Se estima que inicialmente para soportar IPTV, el ancho de banda de la red local exceda los 30Mbps deseablemente.

Ya que el cableado de la red local pertenece al cliente o suscriptor, y el proveedor de servicio no tiene control sobre su uso, las tecnologías de interconexión utilizadas, deben permitir al proveedor de servicios solicitar información acerca de parámetros de la calidad de servicios en dicha red. La calidad de servicio puede ser continuamente monitoreada por el CPE y tomar acciones en caso de que no se entregue la calidad de servicio especificada de acuerdo a una póliza de violación.

Multicast

La característica de multicast puede ser utilizada por los proveedores de servicios para mantener los anchos de banda en las redes de core y acceso. En el caso de las redes locales, cuando más de un usuario está viendo el mismo canal, el proveedor de servicio puede solo entregar una cadena de video y la tecnología de la red local será capaz de distribuir este contenido dentro de sus múltiples usuarios.

Fácil instalación

Este es una importante consideración que principalmente los proveedores de servicio toman en cuenta para eliminar o disminuir lo más posible las llamadas de soporte por parte de los suscriptores. Por otro lado, la manera en la que se realiza la instalación a un suscriptor del sistema IPTV, debe ser ordenada para que así la agregación de nuevos

clientes en la red local o incluso nuevas redes locales se realice con la infraestructura existente sin la necesidad de instalar nuevo cableado.

Conforme el sistema IPTV vaya madurando, los proveedores de equipo estarán en la posibilidad de otorgar altos niveles de integración combinando así más funcionalidades, como por ejemplo STB/Servidores Digitales Multimedia, un Cliente IPTV por medio de una Televisión Digital, incluso eventualmente permitir simples instalaciones “plug and play,” permitiendo así que un usuario sea capaz de auto-instalar su propia red. Ofreciendo los proveedores de servicio soporte y administración remoto a la red con lo que se logra un constante seguimiento de cuidado a todos los clientes.

Seguridad y privacidad

La red local o casera, como su nombre lo dice, solo pertenecen o tienen acceso los propios suscriptores, tanto para redes alámbricas como inalámbricas. La seguridad debe asegurar la no intrusión a la red casera por parte de equipos no pertenecientes a la misma, mientras que la privacidad de manera semejante no debe permitir intrusiones en las líneas telefónicas, cables coaxiales o líneas de corriente de la tecnología de interconexión de red.

Calidad de servicio

Las redes WAN (Wide Area Network) utilizadas para proveer el servicio de IPTV cuentan con los mecanismos de control de la calidad de servicio; que son habilitados en tecnologías como ATM, Ethernet o IP. Sin embargo, es posible que muchas redes caseras no implementen mecanismos de calidad de servicio, bastándoles solo la conectividad de la red.

Con el nacimiento de IPTV, hay una gran necesidad de las redes caseras para ofrecer robustas capacidades de transmisión, como controles de error, mecanismos de recuperación rápida de errores, los cuales son introducidos en el ambiente de la red casera sin ningún servicio especial de retransmisión entre puntos terminales. Además, los paquetes IP pertenecientes a una cadena de video pueden sufrir de retardos en el tiempo, debido al flujo de otros tipos de datos por la red, como por ejemplo, un archivo de audio, radio por Internet o video de alguna página web. Así estos retardos conocidos como *latencia (latency)*, introduce un jitter que se refleja inmediatamente en la Calidad de Experiencia (QoE) del cliente. Siendo también el retardo una consideración importante en dirección contraria, donde la solicitud de cambio de canal requiere ser entregado al nodo de servicio en un instante de tiempo imperceptible para el observador. Lo cual es uno de los principales problemas a resolver dentro de toda la arquitectura y donde se enfocan las soluciones. Este trabajo influye en la disminución de dicho tiempo.

Cobertura y escalabilidad

La tecnología IPTV permite a los proveedores de IPTV ofrecer una amplia variedad en el contenido de canales a los usuarios; además con la baja de precios en aparatos televisores y pantallas LCD (Liquid Crystal Display), es concebible que los usuarios deseen ampliar la gama de opciones en sus dispositivos. Esto les permitirá ver convenientemente televisión digital, video sobre demanda, películas de estreno, etc. Lo

que convierte al servicio como escalable y fácilmente expandible a todas las áreas de una casa.

2.7 Red casera híbrida para servicios IPTV

Una instalación de una red casera que pueda ofrecer servicios de Internet de banda ancha, alta calidad en la distribución de contenidos digitales de audio y video, así como servidores en otras aplicaciones, requieren el concepto de backbone o red dorsal. Este concepto permite a los proveedores de servicios considerar una solución de red-híbrida que sirva para varias aplicaciones. Una red híbrida la cual utiliza líneas de corriente con cables coaxiales brinda dos características importantes a notar, la primera consiste en la cuestión de alimentación y flujo de la corriente eléctrica que naturalmente estará contenida en la línea de corriente y la segunda se enfoca a la entrega de paquetes sobre la red de banda ancha conformada por la red de cable coaxial así como también la administración de la calidad de servicio que corre por esta red. La tabla 2.4 compara varias tecnologías que pueden conformar una red híbrida. [9]

Tabla 2.4 Tecnologías que pueden conformar una red híbrida. [9]

	Línea de corriente (HomePlug ®)	Línea telefónica (HomePNA ®)	Cable coaxial	Wireless (802.11x)
En instalaciones del cliente	Si	Si	No siempre	No siempre
Cobertura completa a la instalación	Si	No siempre	No siempre	No siempre
Movilidad	Disponible	No	No	Si
Confiable	Si	Si	Si	No siempre
Número de enchufes	40	3	3	No aplica
Ancho de banda (Mbps)	14 85 Intellon's Turbo 200	1 10 180	270	11 54 108

En la figura 2.9 se observa el concepto de STB que incluye PLC (Power Line Communication), interfaces de red Ethernet y Coaxial. Con lo que el suscriptor convierte su PLC/Coax/Ethernet o STB en un dispositivo de red plug and play, con entradas para audio y varios formatos de video para equipos de audio/video. [9]



Figura 2.9 STB híbrido. PLC/Coax/Ethernet [9]

2.8 Implantación de IPTV alrededor del mundo

La planeación estratégica de las compañías telefónicas las llevó hace algunos años a desarrollar redes DSL y ahora, debido a la creciente competencia de los operadores de cable que amenazan con comercializar el servicio de telefonía, las compañías telefónicas han comenzado a actualizar su infraestructura técnica hacia una infraestructura IP para realizar todas las operaciones telefónicas y ofrecer servicios basados en IP como el video, para competir directamente con el "triple play" de los operadores de cable.

La implantación de IPTV en redes telefónicas DSL, servicio también conocido como Video sobre DSL (VoDSL), es diferente en cada país debido a la longitud y condiciones de la red telefónica. La longitud entre la central telefónica y el suscriptor determina la velocidad de transmisión y la calidad del servicio.

En EU la implantación de la IPTV ha sido restringida a las compañías telefónicas rurales, actualmente hay 75 implantaciones que ofrecen el servicio a 200 comunidades. La mayoría han sido implantaciones exitosas con un porcentaje de penetración en video entre 32 y 36% en sistemas con 15,000 a 40,000 casas pasadas. La mayoría de las compañías telefónicas han comenzado la implantación de IPTV por necesidad competitiva, es decir, para amarrar a sus clientes y en respuesta a los servicios de telefonía y transmisión de datos que ofrecen los operadores de cable.

En Canadá se han hecho grandes esfuerzos por lanzar el servicio IPTV en varias compañías telefónicas. Un ejemplo es el servicio "Max" TV de SaskTel, lanzado en 2002, que integra audio, video y servicio de datos de alta velocidad para 17,500 usuarios en 13 mercados distintos. Se basa en varias plataformas tecnológicas y entrega 8 Mbps para dos canales de TV de 3 Mbps cada uno y transmisión de datos de alta velocidad. El servicio completo incluye: 32 estaciones de radio AM y FM, 45 canales de música libres de comerciales, 5 cuentas de correo electrónico, una guía de TV interactiva, canales de TV digital, información local y acceso ilimitado a Internet desde la TV y la PC.

En Asia hay aproximadamente 1.7 millones de suscriptores a IPTV, la mayoría de ellos en Hong Kong. Múltiples operadores de banda ancha emplean diferentes plataformas tecnológicas para ofrecer conectividad de alta velocidad y contenido vía ADSL y VDSL a los suscriptores.

En Europa la mayoría de las compañías telefónicas ha anunciado su intención de ofrecer IPTV sobre líneas DSL. El factor que detiene su implantación es el alto costo de la tecnología basada en MPEG-4; por lo tanto, aún se utiliza MPEG-2. Telecom Italia tiene la implantación más grande del continente a través de su servicio Fastweb; ofrece 120 canales de televisión, 3500 títulos de video sobre demanda y un ancho de 4 Mbps. De sus suscriptores, se estima que el 70% adopta el servicio ADSL y de hecho planea lanzar su propio servicio de TV.

El respaldo que IPTV tiene por parte de múltiples empresas subyace en el hecho de que esta tecnología cierra el proceso de integración entre IP y múltiples servicios multimedia interactivos que venían dándose de manera individual. La tendencia de la que se habla en este momento es que todos los servicios estarán basados en el protocolo IP y el usuario final podrá acceder a ellos a través de una conexión de banda ancha ofrecida por

cualquier proveedor de telecomunicaciones. La puesta en marcha de esta nueva plataforma surge como una necesidad de los operadores de telecomunicaciones de hacer frente a la convergencia de servicios como el triple play en las redes de cable, sin la cual los servicios individuales que se ofrecen parecerán incompletos ante los ojos del usuario.

Desde el punto de vista técnico, existe la arquitectura Packet Cable Multimedia (PCMM) desarrollada por CableLabs®, la cual soportará las características necesarias para distribuir IPTV en redes de cable. Para ello utiliza protocolos IP estándares que reservan ancho de banda en la red DOCSIS y garantizan la calidad del servicio. Finalmente, en algún momento los operadores de cable se verán en la necesidad de integrar servicios IPTV en sus receptores convencionales a través de los cabledemods DOCSIS. [2]

2.9 Tecnologías xDSL

Uno de los factores que limitan la tasa de transmisión en un canal de comunicación es el ancho de banda del canal. La red telefónica conmutada fue diseñada para la transmisión de señales de voz. Es por ello que un canal telefónico permite el paso de señales con componentes de frecuencia entre los 300 Hz y los 3,400 Hz. Las señales de datos por lo general contienen componentes de frecuencia muy superiores a los 3,400 Hz, por lo que se hace necesario el uso de módems para adecuar las señales digitales a las características de transmisión del canal telefónico. Uno de los factores que limitan la tasa de transmisión en un canal de comunicación es el ancho de banda del canal. La teoría dice que, sobre un canal telefónico convencional, no se podrán tener tasas efectivas de transmisión de información superiores a los 33 kbps. Este hecho restringe el uso de módems de alta velocidad que utilicen el ancho de banda de voz del canal telefónico. Ante la fuerte demanda de servicios de banda ancha y la existencia de redes telefónicas con miles de kilómetros de pares de cobre tendidos por todo el mundo, se han vislumbrado nuevas formas de aprovechar esta infraestructura para proveer servicios de alta velocidad. Las tecnologías xDSL permiten el uso del par trenzado telefónico para la transmisión de datos a alta velocidad, utilizando bandas de frecuencias superiores a la utilizada por servicio telefónico convencional. La Figura 2.10 muestra un ejemplo del uso compartido del espectro de frecuencia del par trenzado telefónico entre el servicio telefónico convencional y uno de los tipos más comunes de DSL conocido como DSL asimétrico (o ADSL). Como puede notarse en la Figura 2.10, esta tecnología DSL utiliza la banda de frecuencias que va de los 30 kHz a los 1,104 kHz. El empleo de una banda distinta a la convencional permite, en este caso, el uso simultáneo de ambos servicios: teléfono y transmisión de datos de alta velocidad. [11]



Figura 2.10 Utilización del espectro de frecuencia en el par trenzado telefónico para el servicio telefónico convencional (STC) y para el de transmisión de datos a alta velocidad (ADSL).[11]

Sin embargo, el desempeño de la línea telefónica se degrada rápidamente con la distancia a partir de la central telefónica, para frecuencias superiores a las de la voz (4 kHz), lo que limita el uso de DSL a abonados que se encuentren relativamente cerca de la central telefónica (menos de 6 km). Una instalación típica de ADSL se ilustra en la Figura 2.11. Aquí puede observarse que tanto en la central telefónica como en las instalaciones del abonado, se requiere de equipo que separe la señal ADSL de la señal telefónica convencional. En la central, un "módulo de acceso DSL" (DSLAM) dirige la señal telefónica hacia el conmutador que conectará la llamada del abonado a la red pública conmutada de voz y la señal DSL hacia un "ruteador" que envía los datos de alta velocidad del abonado hacia un proveedor de servicios de Internet (ISP) y a Internet. En las instalaciones del abonado la línea telefónica llega a un dispositivo que puede ser un concentrador, un ruteador o un firewall; de ahí pasa por un divisor que separa la señal telefónica de la señal ADSL. La señal telefónica se dirige a un microfiltro y de ahí al teléfono, y la señal ADSL se conecta directamente a un módem que envía los datos de alta velocidad hacia una computadora personal. [11]

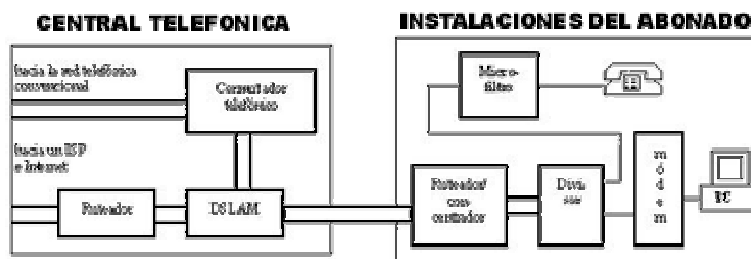


Figura 2.11 Disposición del servicio ADSL entre una central telefónica y las instalaciones del abonado.[11]

Las tecnologías DSL por lo general utilizan un método de modulación conocido como DMT (Multitono Discreto), que se basa en la división del ancho de banda disponible en cientos de subportadoras (llamadas "tonos") moduladas individualmente a baja velocidad (ver Figura 2.12), de forma similar a la modulación COFDM utilizada en sistemas de radiodifusión sonora digital y de televisión digital.[11]

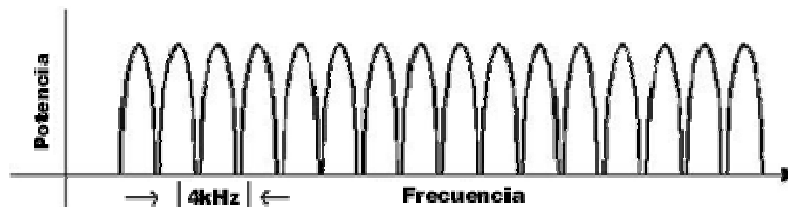


Figura 2.12. Distribución de las subportadoras (tonos) en un sistema de modulación multitonos discretos (DMT).[11]

El estándar ANSI T1.413 especifica el uso de 256 subportadoras separadas 4 kHz entre sí, y con capacidad de llevar entre 0 y 15 bits por segundo por Hertz, lo que implica una tasa de hasta 60 kbps por tono. La modulación DMT es robusta y se adapta bien a las condiciones de la línea. De hecho, el número de bits por subportadora puede ajustarse

dinámicamente para que sea mayor en aquellas porciones del ancho de banda donde las condiciones de la línea son mejores y se reduzca donde son peores. [11]

2.10 Especificaciones de un Sistema de Video IPTV MPEG-4

El Sistema de Vídeo sobre IP (SVIP) deberá ser diseñado y desarrollado en base al estándar ISO 9000:2000 y deberá incorporar los siguientes elementos:

Transmisores

- Transmisión en directo de Vídeo MPEG-4
- Transmisión y recepción de Audio MPEG-4 (opcional)

Receptores

- Recepción en directo de Vídeo MPEG-4
- Transmisión y recepción de Audio MPEG-4 (opcional)

Grabadores de Vídeo en Red (NVRs)

Estaciones de Centro de Control (Operadores y Administrador)

Infraestructura de Red IP

2.10.1 Descripción de un sistema de vídeo IP

- Los transmisores se conectarán a cada cámara analógica, comprimirán el video y el audio (opcional) mediante MPEG-4, y lo transmitirán a través de la red IP.
- El vídeo podrá visualizarse en los receptores, que lo lanzarán a un monitor de TV, o en múltiples PCs que constituyan estaciones de Centro de Control
- Los Grabadores de Red NVRs sobre Windows y/o Linux se encargarán de recibir y almacenar el Vídeo y el Audio (opcional) MPEG-4 procedente de los transmisores.
- Las estaciones de Centro de Control llevarán a cabo la operación de la matriz virtual del SVIP, incluyendo vídeo y audio en directo, reproducción de grabaciones, gestión de alarmas, secuencias, tours de guardia y salvos. Todos los usuarios del Centro de Control se conectarán a una base de datos central que será gestionada por el administrador. El administrador del SVIP se encargará de asignar privilegios a los usuarios, al mismo tiempo que se ocupará de configurar y mantener el sistema.



Figura 2.13 la interconexión de cada uno de los componentes del SVIP. [10]

2.10.2 Transmisores

La base del SVIP consistirá en un transmisor conectado a cada cámara analógica. El transmisor tomará una señal de vídeo analógica (compuesta), comprimirá el vídeo (y el audio opcionalmente) mediante el estándar MPEG-4, y lo transmitirá por la red IP. Una vez en la red, el vídeo y el audio podrán ser visualizados en una estación de Centro de Control, o mediante un monitor analógico conectado a un receptor MPEG-4, o bien podrán ser almacenados en un Grabador de Red NVR.

Vídeo MPEG-4

La plataforma de codificación del transmisor deberá estar basada en la arquitectura ASIC, y deberá soportar el codec MPEG-4 Visual Part 2 Advanced Simple Profile (mínimo). No deberán implantarse sistemas de codificación basados en Procesadores Digitales de Señal DSPs, debido al escaso rendimiento que ofrecen, el cual puede traducirse en una tasa de transmisión reducida, una pobre calidad y anomalías en el vídeo y un aumento en el uso del ancho de banda.

Para garantizar que el rendimiento en la codificación de vídeo no se vea afectado por ninguna otra funcionalidad, el transmisor deberá incorporar un procesador adicional e independiente, que se encargará de la codificación de audio MPEG-4, la Detección de Movimiento en el Vídeo (VMD), la Tasa de Transmisión Controlada por Actividad (ACF), alarmas, comunicaciones serie y comunicaciones de red. Este procesador no deberá realizar ninguna operación de vídeo para garantizar que éste no se vea afectado en condiciones de carga máxima de procesamiento.

El Transmisor deberá:

- Disponer de una implementación MPEG-4 ratificada y con licencia otorgadas por la Autoridad de Licencias MPEG, al mismo tiempo que debe estar listada en su página web www.mpegla.com.
- Ser capaz de obtener las siguientes resoluciones con una tasa completa de imágenes por segundo (full frame rate) incluso en condiciones de elevada cantidad de movimiento:
 - Resolución CIF (352x288 PAL 25fps, 352x240 NTSC 30fps)
 - Resolución 2CIF (704x288 PAL 25fps , 704x240 NTSC 30fps)
 - Resolución 4CIF (704x576 PAL 25fps, 704x480 NTSC 30fps)
- Garantizar esa tasa completa (full frame rate) de 25fps en PAL (Phase Alternating Line) o 30fps en NTSC (Nacional Television System Committee) en condiciones de mucho movimiento a resoluciones de CIF, 2CIF y 4CIF (Common Intermediate Format).
- Soportar 3 flujos de vídeo simultáneos en resolución CIF, 2 flujos simultáneos en resolución 2CIF y 1 flujo en 4CIF. Para cada flujo de vídeo debe poderse configurar de forma independiente la tasa de transmisión, la tasa de imágenes por segundo, el intervalo entre tramas I, el modo de control de la tasa de transmisión (limitado CBR o por actividad ACF) y la transmisión de información de movimiento. De igual modo, todos los flujos deben cumplir la premisa de garantizar tasas de 25/30fps (full frame rate) bajo condiciones de mucho movimiento.

- Permitir que la tasa de transmisión de cada flujo pueda configurarse entre 32Kbps y 4096Kbps.
- Soportar Tasa de Transmisión Limitada Capped Bit Rate (CBR), que garantiza siempre una tasa de transmisión de vídeo de 25/30fps (full frame rate) y ajusta la calidad en función del nivel de movimiento en la escena en cada momento.
- Soportar Tasa de Transmisión Controlada por Actividad (Activity Controlled Framerate - ACF) para asegurar que se utiliza el mínimo ancho de banda de transmisión y el mínimo espacio de almacenamiento en disco cuando no existe movimiento en la escena. Durante periodos de muy poco movimiento, la tasa de transmisión se reduce a 1 fps (20kbps aproximadamente) y cuando se detecta movimiento en la escena se vuelve a una tasa de transmisión de 25/30fps (full frame rate) en 100ms. Debe facilitarse un editor de Región de Interés (ROI), mediante el que sea posible la selección de las áreas de la escena en las que no se tendrá en cuenta el movimiento. También debe permitirse la configuración de un parámetro de sensibilidad de actividad para poder filtrar los movimientos irrelevantes.
- Transmitir vídeo con tasas de 25/30fps (full frame rate) a cualquier número de receptores de vídeo con un ancho de banda agregado de hasta 20Mbps utilizando conexiones TCP o UDP (Transmission Control Protocol / User Datagram Protocol).
- Soportar un número ilimitado de receptores utilizando UDP Multicast independientemente del ancho de banda agregado total.

2.10.3 Receptores

El Sistema de Vídeo IP podrá incluir un receptor conectado a cada monitor analógico para reproducir vídeo y audio bidireccional (opcional) procedente de cada transmisor MPEG-4. Los receptores deberán soportar cada una de las siguientes funcionalidades, según lo indicado en esta sección.

2.10.4 Características del transmisor y receptor

Los transmisores y receptores del SVIP podrán presentarse en diferentes formatos:

- *Transceiver* Podrá configurarse para transmitir o recibir vídeo MPEG-4 y audio (opcionalmente).
- *Transmisor* Solamente podrá transmitir vídeo MPEG-4. No soportará audio.
- *Chasis para Rack y Tarjetas* El chasis para rack tendrá una única interfaz de red y una fuente de alimentación común para permitir una instalación sencilla.

El chasis tendrá capacidad para hasta 10 tarjetas de transmisor o receptor (no transceivers).

Cada tarjeta podrá tener la opción de audio.

Las tarjetas serán insertables en caliente, de forma que puedan extraerse o insertarse en el rack mientras éste esté encendido sin que esto afecte al funcionamiento de las otras tarjetas.

Audio MPEG-4

- Cada transmisor y receptor soportará el codec de audio AAC-LC MPEG-4, proporcionando una calidad de sonido de CD. Codecs inferiores como G.728, G.729 o G.711 no proporcionan una calidad suficiente para aplicaciones de vigilancia.
- El audio será totalmente bidireccional, de forma que pueda transmitirse y recibirse de forma simultánea.
- La tasa de transmisión podrá ser seleccionada de entre los siguientes valores: 32kbps, 48kbps y 64kbps.
- Muestreo a 16khz con una resolución de 16bits.
- Entrada de audio de línea estéreo.
- Entrada de audio de micrófono. Las tarjetas transmisoras para el rack podrán no soportar esta opción puesto que por su ubicación centralizada, lógicamente recibirán el audio por la entrada de línea.
- Salida de audio de línea estéreo.
- Ganancias de entrada y salida configurables de modo independiente.

Fiabilidad

Los transmisores y receptores deberán disponer de un Sistema Operativo (OS) Linux, ya que se considera el más estable. Esto permitirá a los dispositivos la incorporación de las funcionalidades estándar de Linux, como las comunicaciones TCP/IP de alta fiabilidad, un firewall integrado, aplicaciones Telnet y FTP, así como todo tipo de diagnósticos. No se aceptarán plataformas basadas en otros OS, incluyendo sistemas propietarios, ya que no serán tan fiables como Linux.

Seguridad de red

Los transmisores y receptores deberán incorporar mecanismos de seguridad integrados que eviten accesos no autorizados:

- Se bloquearán todos los puertos de red que no se utilicen en el funcionamiento normal para evitar posibles ataques.
- Deberán soportar protección mediante contraseña para evitar accesos no autorizados.
- Se dispondrá de un Firewall en cada transmisor y receptor para permitir el acceso únicamente a direcciones IP definidas. Técnicas no basadas en la dirección IP, se han mostrado insuficientes.

Administración

La administración de los dispositivos se realizará vía página Web para configurar todos los parámetros, incluyendo:

- Nombre y emplazamiento del dispositivo
- Dirección IP
- Velocidad del Interfaz Ethernet

Deberá ser posible restablecer un dispositivo a los valores de fábrica por defecto sin perder la información de la dirección IP. También deberá ser posible la configuración de los dispositivos mediante un puerto serie de Consola.

Diagnósticos

Los dispositivos deberán permitir el envío de diagnósticos a una dirección IP remota (servidor syslog), la transmisión a través del puerto de consola, así como el almacenamiento en un registro local. Deberán estar disponibles páginas web dedicadas para cada diagnóstico, incluyendo:

- Conexiones en curso de vídeo y audio (por dirección IP)
- Registro local del sistema
- Información de registro que incluya toda la configuración
- Registro de arranque (incluyendo auto test de arranque)
- Procesos en marcha del sistema
- Información del dispositivo
- Información de Interrupciones
- Información de entradas y salidas de alarma
- Información del codificador ASIC
- Estadísticas de red (incluyendo paquetes perdidos y colisiones)
- Estadísticas del puerto serie

Cada dispositivo deberá incluir un puerto de consola RS232 para visualizar los diagnósticos y para configuración serie.

También se deberá permitir el acceso mediante Telnet para realizar diagnósticos, restringido mediante una contraseña de administrador y solamente accesible desde las direcciones IP especificadas en el firewall.

2.10.5 Grabadores de Vídeo en Red (NVRs)

Los Grabadores de Vídeo en Red o NVRs estarán conectados a la red IP y almacenarán vídeo y audio procedente de transmisores seleccionados. Los NVRs también ofrecerán a las estaciones con centro de control y a los receptores la reproducción de las grabaciones almacenadas, además de almacenar y enviar alarmas. El NVR podrá consistir bien en un software sobre Windows para funcionar en un PC o servidor, o bien en un software sobre Linux para funcionar sobre un NVR Autónomo.

2.10.6 Estaciones del Centro de Control

Los usuarios del Centro de Control operarán el SVIP desde una o más estaciones. En total, el SVIP soportará un total de 9.999 transmisores, receptores y NVRs. También soportará un número ilimitado de Centros de Control. Cada usuario del Centro de Control iniciará sesión en una base de datos central que asignará las configuraciones relevantes y los privilegios de acceso. Será el administrador del SVIP el encargado de configurar y gestionar esta base de datos.

Especificaciones de PC para el Centro de Control

Las especificaciones del PC para el Centro de Control dependerán de la ancho de banda total del vídeo decodificado. Se necesitarán 250MHz de procesado de CPU por cada 1Mbps de vídeo decodificado. En la siguiente tabla se muestran los procesadores recomendados dependiendo del número de flujos de vídeo:

Tabla 2.6 Recomendaciones de CPUs de acuerdo a los flujos de video.

No. de flujos	Tasa de transmisión @ imágenes por segundo	Potencia de CPU necesaria
4	1 Mbps @ 25 fps	Intel Pentium 4 @ 1.7 GHz
9	1 Mbps @ 25 fps	Intel Pentium 4 @ 2 GHz
16	1 Mbps @ 25 fps	Intel Pentium 4 @ 3.2 GHz
32	1 Mbps @ 25 fps	Dual Xeon @ 3.2 GHz
50	128 kbps @ 25 fps	Dual Xeon @ 3.6 GHz

Adicionalmente se recomiendan las siguientes características:

- 512MB de memoria RAM DDR2-400/533 como mínimo.
- Tarjeta de red 100Base-T o 1000Base-T.
- Sistema operativo Windows XP Professional (Windows 2000 podrá utilizarse pero no se recomienda)
- Espacio en disco de 30MB (para instalar el Centro de Control), más el suficiente para guardar las imágenes de los mapas.
- Tarjeta Gráfica con al menos 32MB de RAM que soporte Direct X9 o superior y con la funcionalidad de conversión color-espacio por hardware, p. ej. NVIDIA GeForce 2 y posteriores, ATI Radeon 7500 y posteriores.
- Tarjeta de audio compatible con DirectSound
- Monitor simple o dual con capacidad de resolución de 1280x1024 o superior.

Vídeo en directo

- Las Estaciones Centro de Control podrán reproducir vídeo y audio en directo de hasta 50 transmisores en un único PC, todos a 25/30 fps.
- Los monitores duales permitirán mostrar hasta 25 flujos en directo en cada monitor.
- El operador podrá elegir diferentes distribuciones de los paneles de vídeo, incluyendo distribuciones personalizadas y varias opciones en torno a un panel principal.
- Deberá ser posible maximizar las ventanas y paneles de vídeo a pantalla completa.
- Se permitirá escuchar el audio procedente de transmisores o receptores individuales.
- También podrá transmitirse simultáneamente audio desde el operador para permitir una conversación bidireccional.
- Deberá ser posible mostrar las tasas de transmisión de audio y vídeo, número de imágenes por segundo y la resolución en cada panel de video
- Deberá ser posible la gestión y administración de alarmas.

Integración con otros sistemas

Deberá permitirse la integración completa del Centro de Control con otros sistemas como controles de acceso, sistemas de gestión de alarmas. La integración de estos sistemas se podrá realizar de las siguientes formas:

Lanzamiento automático de la aplicación Será posible lanzar automáticamente el Centro de Control bien en el arranque del PC, o bien desde otro código u otra aplicación. Cuando se lance automáticamente, el usuario y la contraseña podrán ser especificados a la aplicación como parámetros.

Ejecutar otras aplicaciones Los usuarios podrán ejecutar otras aplicaciones directamente desde la vista de vídeo en directo del Centro de Control. Los usuarios podrán visualizar el vídeo en directo de un transmisor y entonces, solicitar la ejecución de otra aplicación a la que se le pasarán el nombre y la dirección IP del transmisor como parámetros. Se podrán lanzar hasta 4 aplicaciones diferentes que deben habilitarse en la interfaz del Centro de Control.

2.10.7 Infraestructura de la red IP

Los transmisores, receptores, NVRs y las Estaciones Centro de Control del SVIP estarán interconectados mediante una red IP. A continuación se describen los tipos de red que soportarán los citados componentes.

Redes de Área Local (LAN)

Los dispositivos soportarán los siguientes tipos de redes LAN:

- Ethernet conmutada de 10Mbps half y full duplex.
- Ethernet conmutada de 100Mbps half y full duplex.
- Gigabit Ethernet (1000Mbps).
- FDDI.
- Modo de Transferencia Asíncrono (IP encapsulado sobre ATM).
- LANs inalámbricas incluyendo, aunque no exclusivamente,
- estándares como 802.11b (11Mbps) y 802.11g (54Mbps).

La red LAN deberá emplear un cableado de red estándar, incluyendo:

- CAT5 o CAT6 (Par Trenzado no Apantallado – UTP).
- Fibra Óptica. Teniendo en cuenta que los Transmisores, Receptores y NVRs necesitarán conversores de medios (transceivers) o conmutadores (switches) con interfaces de fibra óptica.

La LAN del SVIP deberá estar física o lógicamente separada de cualquier otra infraestructura LAN existente. Las interconexiones con otras LANs deberán realizarse mediante:

- Routers
- Mecanismos de NAT

- Firewalls
- Conmutadores (switches) de nivel 3
- Una VLAN adicional a la VLAN existente. Para la interconexión de las VLANs se necesitarán switches de nivel 3 o routers.

La LAN deberá estar configurada para soportar, al menos, uno de los siguientes protocolos de red:

- UDP Multicast para permitir la transmisión de un único flujo por transmisor tanto de vídeo como de audio. Esto reduce de forma drástica el ancho de banda utilizado en la red, ya que siempre es igual al de un flujo del transmisor (o hasta 3 en caso de ser necesaria la utilización de flujos de diferentes anchos de banda), independientemente del número de clientes que se hayan conectado al sistema.
- TCP.
- UDP Unicast.

Redes de Área Extensa (WAN)

Las redes WAN deberán soportar todas las funcionalidades del SVIP. Los clientes que accedan a través de una red WAN, incluyendo los NVRs, los receptores y las Estaciones de Centro de Control, se conectarán a los transmisores normalmente mediante UDP Unicast o TCP. Para redes WAN no gestionadas, como por ejemplo la red pública Internet, podrán utilizarse VPNs (Virtual Private Network) o encapsulación para transmitir UDP Multicast.

Las redes WAN soportarán las siguientes configuraciones:

- Interconexión con routers.
- Mecanismos de NAT (Network Address Translation donde los puertos sólo podrán ser redirigidos a un único transmisor).
- Firewalls.
- Redes Privadas Virtuales VPNs.
- En las WANs gestionadas, los routers deberán configurarse para transmitir IP Multicast y reducir así el ancho de banda utilizado en los enlaces.

Los siguientes accesos a Internet deberán estar permitidos ya que soportan un ancho de banda mínimo de 37kbps (32kbps más un 15% de cabeceras):

- Módem a RTC (56Kbps)
- ADSL
- SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)
- RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)
- Líneas alquiladas
- Accesos inalámbricos

Redes inalámbricas

Deberá ofrecerse la posibilidad de utilizar radioenlaces en la banda de 5.4 GHz, con las siguientes opciones:

- Antena integrada con el dispositivo de radio.
- Dispositivo de radio independiente con antena anexa

Los módulos de radio deberán cumplir las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de operación: 5.150 – 5.725, definible según el país.
- Modulación OFDM
- Control automático de potencia
- Selección dinámica de frecuencia
- Potencia Isotrópica Radiada (PIRE) inferior a 2W
- Máxima tasa de transmisión de 108 Mbps, proporcionando al menos 60Mbps a una distancia de 15 Km
- Dimensiones físicas: 310x310x85mm
- Peso: 3.1 Kg aprox.
- Montaje en pared o mástil
- Temperatura de funcionamiento de -20 °C a 50 °C [10]

III. Codificación de video bajo el estándar MPEG-4

Las siglas MPEG son el acrónimo de Moving Picture Experts Group. Este es el nombre que recibe una familia de estándares utilizados en la codificación de información audiovisual en un formato digital comprimido.

La ventaja más importante que tiene MPEG sobre otros estándares de codificación de audio y video es que los archivos que genera son de menor tamaño y de mejor calidad. Esto se debe a que utilizan técnicas de compresión altamente sofisticadas. [12]

Características generales del estándar MPEG

Joint Photographic Experts Group (JPEG), como su nombre lo indica es un sistema de compresión de fotografías. Muchos de los sistemas de compresión de vídeo, tal como el M-JPEG (Motion JPEG) Cinepak e Indeo entre otros, se basan en él. Consideran el vídeo como una sucesión de fotografías. MPEG introduce la noción de movimiento de una manera mucho más compleja.

El formato MPEG (Moving Picture Experts Group) es un estándar para compresión de audio y video, establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). Al ser creado se establecieron 4 tipos de MPEGs, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-3 y MPEG-4. Cada uno de estos según su calidad. De aquí nace el popular formato MP3 para audio y también el MPEG-4 que es el de mayor compresión para video.

Ofrece tres ventajas principalmente: compatibilidad mundial, elevado nivel de compresión y poca degradación de la imagen. El estándar no especifica cómo se debe hacer la compresión, por lo que los diferentes fabricantes luchan para determinar el mejor algoritmo, manteniendo siempre la compatibilidad.

Una cadena MPEG se compone de tres capas: audio, video y una capa a nivel de sistema. Esta última incluye información sobre sincronización, tiempo, calidad, etc.

Así desde su creación, MPEG ha normalizado los siguientes formatos de compresión:

MPEG-1: Establecido en 1991, se diseñó para introducir video en un CD-ROM. En aquel entonces eran lentos, por lo que la velocidad de transferencia quedaba limitada a 1.5 Mbps y la resolución a 352x240 pixeles. La calidad es similar al VHS. Se usa para videoconferencias, CD, etc. Con la posibilidad de ser usado a mayor velocidad, ofreciendo así más calidad.

MPEG-2: Establecido en 1994, se diseñó para ofrecer mayor calidad con mayor ancho de banda (típicamente de 3 a 10 Mbits). En esa banda, proporciona 720x486 pixeles de resolución, es decir, calidad de TV. Ofrece también compatibilidad con MPEG-1.

MPEG-3: Fue una propuesta del estándar para la TV de alta resolución (HDTV), sin embargo, MPEG-2 con mayor ancho de banda cumple con esta condición, por lo que ha quedado en desuso para este cometido.

MPEG-4: Es la más reciente evolución de la familia MPEG. Se trata de un formato de muy bajo ancho de banda y resolución de 176x144 pixeles, pensado para videoconferencias

sobre Internet, etc. Realmente está evolucionando mucho y hay atractivo software codificador que da una calidad semejante al MPEG-2 pero con mucho menor ancho de banda, por lo que la tendencia apunta a una migración a MPEG-4 debido a las mejoras que brinda con respecto a sus antecesores. [13]

Adicionalmente, el MPEG utiliza codecs de compresión con bajas pérdidas de datos usando codecs de transformación. En los codecs de transformación con bajas pérdidas, las muestras tomadas de imagen y sonido son segmentados en pequeños fragmentos, transformados en frecuencia para posteriormente ser cuantificados. Así los valores cuantificados son codificados entrópicamente.

Los sistemas de codificación de imágenes en movimiento, tal como MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4, añaden un paso extra, donde el contenido de la imagen se predice antes de la codificación a partir de imágenes pasadas, para así sólo codificar las diferencias con las imágenes previas; y de igual manera se añade un paso extra para llevar a cabo dicha predicción.

MPEG solamente normaliza el formato del flujo binario y el decodificador. El codificador no está normalizado en ningún sentido; sin embargo, hay implementaciones de referencia para los miembros que cumplen con los flujos binarios. [12]

Estándar MPEG-2

MPEG-2 es la designación para el estándar de codificación de audio y video acordado por MPEG, y publicados como estándar ISO 13818. MPEG-2 es por lo general usado para codificar audio y video para señales de transmisión, que incluyen televisión digital terrestre, por satélite o cable. MPEG-2, con algunas modificaciones, es también el formato de codificación usado por los discos SVCDs y DVDs comerciales de películas.

MPEG-2 es similar a MPEG-1, pero también proporciona soporte para video entrelazado (el formato utilizado por las televisiones). MPEG-2 video no está optimizado para bajas tasas de bits (menores que 1 Mbps), pero supera en desempeño a MPEG-1 a 3 Mbps y superiores. Específicamente, el estándar fue diseñado para generar velocidades binarias entre 5 y 10 Mbps para mejorar la calidad de video en HDTV principalmente.

Algunas de las principales mejoras en los codificadores MPEG-2 son las siguientes:

- Nuevo modo de predicción de campos y tramas para el escaneo entrelazado
- Mejora en la cuantización
- Dos nuevas capas de sistema para el multiplexaje y transporte que provee paquetes de video de alta o baja prioridad cuando son llevados a través de una red conmutada.
- Soporte resistente para el incremento de errores.

El estándar MPEG-2 es un esquema híbrido de compresión para imágenes en movimiento que usa codificación intra e intertrama, combinando la codificación predictiva y la codificación con la transformada DCT 8x8 (Discrete Cosine Transform). Siendo el cuantizador el que otorga los bits para los coeficientes DCT más importantes, los cuales son transmitidos.

3.2.1 Multiplexaje y transporte.

El multiplexaje y transporte definidos bajo MPEG-2 especifica el formato de codificación para multiplexar audio, video y datos dentro de una forma manejable para almacenar o transmitir. Hay dos formatos de cadenas de datos definidos, *cadenas de transporte* y *cadenas de programa*.

1. *Cadena de transporte (TS)*, es normalmente usada para aplicaciones en donde la pérdida de datos no es determinante en la transmisión. Una TS es una sucesión de paquetes de 188 bytes de longitud llamados “paquetes de transporte.” MPEG-2 introduce y define *flujos de transporte*, los cuales son diseñados para transportar video y audio digital a través de medios impredecibles e inestables, y son utilizados en transmisiones televisivas. Con algunas mejoras MPEG-2 es también el estándar actual de las transmisiones en HDTV. Un decodificador que cumple con el estándar MPEG-2 también debe ser capaz de reproducir MPEG-1.
2. *Cadena de programa (PS)*, es normalmente usada en ambientes libres de errores, como aplicaciones multimedia. Llevan paquetes largos de longitud variable. Cada paquete comenzará con una cabecera, un error en la cabecera puede causar la pérdida del paquete completo y puede representar la corrupción de la trama completa de video.

El multiplexaje basado en paquetes es muy flexible; es decir, paquetes pertenecientes a diferentes programas pueden ser distribuidos de varias maneras. Un buffer es utilizado en el decodificador para asegurarse que todos los datos son presentados a tiempo y codificados correctamente. Ya que la velocidad de las cadenas empaquetadas es variable, el multiplexaje basado en paquetes es de gran aprovechamiento, ya que se pueden distribuir cadenas de distintas fuentes con diferentes velocidades dentro de una salida común con velocidad fija.

Después del multiplexaje, la señal sufrirá el proceso final, cada paquete de transporte puede ser encriptado, bajo un control de acceso condicional. La salida de un multiplexor portando múltiples canales será siempre de velocidad fija.

3.2.2 Audio MPEG-2.

El sistema de multiplexaje MPEG-2, soporta cualquier número de canales de entrada de audio tan largos como la velocidad de transporte seleccionada pueda soportar la suma de datos. Los usuarios tienen la flexibilidad para seleccionar su propio algoritmo de compresión de audio, tales como: audio MPEG-2, MUSICAM, Dolby AC-2 o AC-3. Una vez más, la velocidad también será asociada con la calidad.

MPEG-2 audio, definido en la parte 3 del estándar, mejora a MPEG-1 audio al alojar la codificación de programas de audio con más de dos canales. La parte 3 del estándar admite que sea hecho retro-compatible, permitiendo que decodificadores MPEG-1 audio puedan decodificar la componente estéreo de los dos canales maestros, o en una manera no retro-compatible, la cual permite a los codificadores hacer un mejor uso del ancho de banda disponible. MPEG-2 soporta varios formatos de audio, incluyendo MPEG-2 AAC (Audio Advanced Coding).

La compresión de audio MPEG-2 es un algoritmo que, como el video MPEG-2, explota las limitaciones del sistema humano, específicamente, del oído. Como en la compresión del video, el algoritmo del audio también elimina información irrelevante dentro de la señal de audio. La información irrelevante es cualquier señal imperceptible por las capacidades auditivas. La configuración básica del audio MPEG-2 ofrece seis canales de audio. Esta característica debe ser utilizada para distribuir tres pares estereos o seis canales mono para aplicaciones múltiples.

3.2.3 Vídeo MPEG-2.

Las imágenes en movimiento y el audio asociado crean un *flujo de sistema MPEG-2* típico mediante tres tipos de datos de marco (cuadros intra, cuadros posteriores predecibles y cuadros predecibles bi-direccionales) arreglados en un orden específico llamado *estructura GOP* (Group Of Pictures o Grupo de Imágenes).

Generalmente el material originado es una secuencia de video a una resolución de píxeles prefijada a 25 o 29.97 cuadros por segundo con sonido.

MPEG-2 admite flujos de video escaneado de manera tanto progresiva como entrelazada. En flujos de escaneo progresivo, la unidad básica de codificación es un campo; los términos genéricos *cuadro* e *imagen* se refieren tanto a los campos o cuadros, dependiendo del tipo de flujo. El flujo MPEG-2 esta hecho de una serie de cuadros de imágenes codificadas. Las tres maneras de codificar una imagen son: intra-codificado (I cuadro), predecible posterior (P cuadro) y predecible bi-direccional (B cuadro).

La imagen del video es separada en dos partes: luminancia (Y) y croma (también llamada señales de diferencia de color U y V) a su vez, son divididos en *macrobloques* los cuales son la unidad básica dentro de una imagen. Cada *macrobloque* es dividido en cuatro 8X8 bloques de luminancia, donde el número de bloques de croma 8X8 depende del formato de color de la fuente. Por ejemplo en el formato común YUV 4:2:0 hay un bloque de croma por *macrobloque* por cada canal haciendo un total de seis bloques por *macrobloque*.

Cada bloque es procesado con una Transformada Coseno Discreta (DCT) de 8X8. El coeficiente DCT resultante es entonces cuantificado de acuerdo a un esquema predefinido (tablas definidas por el estándar), reordenado a una máxima probabilidad de una larga hilera de ceros, y codificado. Finalmente, se aplica un algoritmo de codificación Huffman de tabla fija.

Los cuadros I codifican redundancia espacial, mientras que los cuadros B y P codifican redundancia temporal. Debido a que los marcos adyacentes son a menudo bien correlacionados, los cuadros P pueden ser del 10% del tamaño de un cuadro I, y el cuadro B al 2% de su tamaño.

La secuencia de diferentes tipos de marcos es llamada *la estructura de grupos de imágenes* (GOP). Hay muchas estructuras posibles pero una común es la de 15 marcos de largo, y tiene la secuencia I_BB_P_BB_P_BB_P_BB_P_BB_. Una secuencia similar de 12 marcos es también común. La relación de cuadros I, P y B en la estructura GOP es determinado por la naturaleza del flujo de video y el ancho de banda que contiene el flujo, además el tiempo de codificación puede ser un asunto importante. Esto es

particularmente cierto en las transmisiones en vivo y en ambientes de tiempo real con fuentes de cómputo limitados, un flujo que contenga varios cuadros B puede tomar tres veces más tiempo para codificar que un archivo que sólo contenga cuadros I.

La tasa de bit de salida de un codificador MPEG-2 puede ser constante (CBR) o variable (VBR), con un máximo determinado por el reproductor por ejemplo el máximo posible en un DVD de película es de 10.4 Mbps. Para lograr una tasa de bits constante el grado de cuantificación es alterado para lograr la tasa de bits requerida. Incrementar la cuantificación hace visible un defecto cuando el video es decodificado, Generalmente en la forma de “mosaicamiento”, donde las discontinuidades en los bordes de los macrobloques se hace más visible como reducción de la tasa de bits. [14]

3.3 Estándar MPEG-4

Introducido a finales de 1998, MPEG-4 es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo así como su tecnología relacionada; normalizada por el grupo MPEG de ISO/IEC. Los usos principales del estándar MPEG-4 son los flujos de medios audiovisuales, la distribución en CD, la transmisión bidireccional por videófono y emisión de televisión. Así las principales aplicaciones se centran en tres campos:

- Televisión digital
- Aplicaciones gráficas interactivas
- Distribución y acceso de contenidos multimedia en Internet

Adicionalmente este estándar proporciona las características necesarias para la convivencia e integración de estas tres tecnologías. Entre las características principales del estándar se incluyen:

- La representación de unidades visual y audiovisual contenidas en un “media object,” el cual puede ser producto de una grabación con cámara y micrófono o producido mediante una computadora.
- La descripción de la composición de cada “media object” para crear una escena audiovisual.
- La multiplexación y sincronización de los datos asociados con los “media objects,” con los cuales los datos pueden ser transportados mediante canales de red proveyendo una calidad de servicio (QoS) apropiado para cada “media object.”
- La posibilidad de interacción con la escena audiovisual generada en la terminal del receptor.

MPEG-4 nos permite la representación codificada de los objetos, la cual consiste en describir cada una de las herramientas que permiten manipular a los elementos que conforman una escena audiovisual así como el flujo de datos si fuese necesario. De esta manera cada “media object” se representa de manera independiente. Parte de las funcionalidades de la codificación son la robustez contra errores, la extracción y edición de cada objeto de manera sencilla o simplemente disponer de un objeto de manera escalable. [12]

Por otra parte, la mayoría de las características que conforman el estándar MPEG-4 no tienen que estar disponibles en todas las implementaciones, al punto que es posible que no existan implementaciones completas del estándar MPEG-4. Para manejar esta

variedad, el estándar incluye el concepto de perfil y nivel, lo que permite definir conjuntos específicos de capacidades que pueden ser implementados para cumplir con objetivos particulares.

MPEG-4 está formado por varios estándares, llamados "partes", que incluyen:

- Parte 1 (ISO/IEC 14496-1) *Sistemas*: Describe la sincronización y la transmisión simultánea de audio y video.
- Parte 2 (ISO/IEC 14496-2) *Visual*: Un codec de compresión para elementos visuales (video, texturas, imágenes sintéticas, etc.) Uno de los muchos perfiles definidos en la Parte 2 es el Advanced Simple Profile (ASP).
- Parte 3 (ISO/IEC 14496-3) *Audio*: Un conjunto de codecs de compresión para la codificación de flujos de audio; incluyen variantes de Advanced Audio Coding (AAC) así como herramientas de codificación de audio y habla.
- Parte 10 (ISO/IEC 14496-10): Advanced Video Coding (AVC): Un códec de señales de video técnicamente idéntico al estándar ITU-T H.264.

También es posible definir perfiles a nivel de las partes, dado que una implementación de una parte no necesariamente contiene toda esa parte. [15]

3.3.1 Entrega de tramas de datos.

La entrega sincronizada de datos, explota diferentes tipos de QoS disponibles para la red, para casos específicos de sincronización y entrega se emplean dos capas de multiplexación, como se muestra en la figura 3.1.

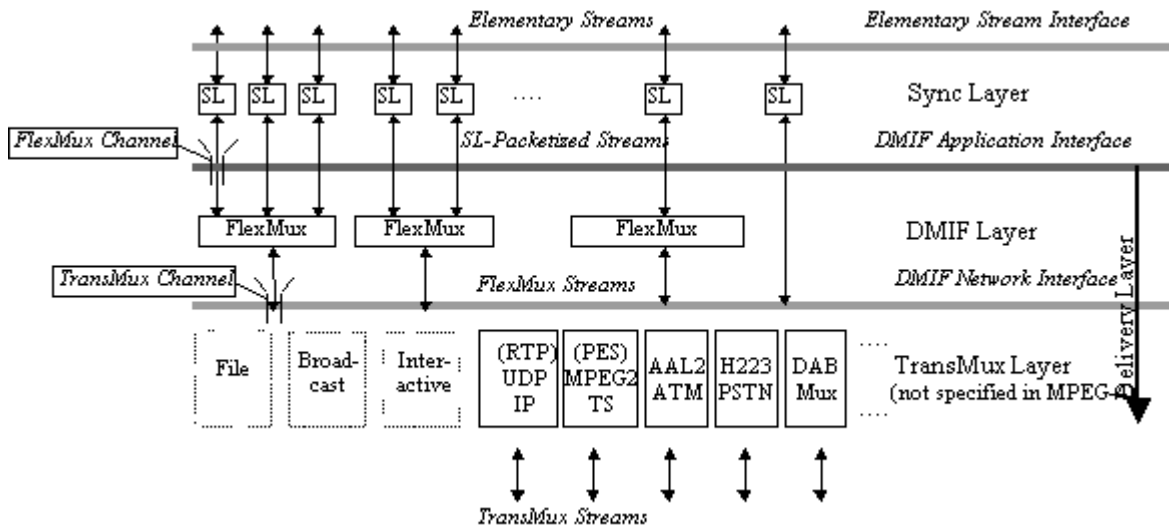


Figura 3.1 Capas de multiplexación para la entrega de datos.

La primera capa de multiplexación es administrada según las especificaciones Delivery Multimedia Integration Framework (DMIF), la cual permite el control de las funcionalidades así como del transporte, además de permitir la unión de tramas elementales con multiplexación básica, lo que reduce el número de conexiones y por tanto sus retardos. Se conoce con el nombre de FlexMux. El uso de esta capa es opcional y puede estar vacía si la capa de TransMux proporciona todas las funcionalidades requeridas; no obstante la capa de sincronización debe de estar siempre presente.

La segunda capa conocida como TransMux o multiplexación de transporte ofrece los servicios de transporte que concuerden con los requerimientos de QoS y del protocolo empleado por la red; la elección de la capa correcta se deja al usuario final o al proveedor de servicios para no limitar sus capacidades y ambiente de trabajo.

De la figura 3.1, se pueden identificar las unidades de acceso, las marcas de tiempo y las referencias de reloj así como los datos perdidos y los requerimientos de QoS para cada trama elemental y FlexMux. Los cambios de QoS se dan según las necesidades de la red y la asociación de tramas elementales para formar “media objects.”

3.3.2 Versiones de MPEG-4

Es importante reconocer las diferentes versiones de este estándar dado que un perfil no sustituye a la anterior; se crean las versiones como nuevos perfiles. Las dos primeras versiones fueron expedidas en Diciembre de 1998 y 1999 respectivamente. La figura 3.2 muestra la relación que guarda cada una de las versiones correspondientes al estándar.

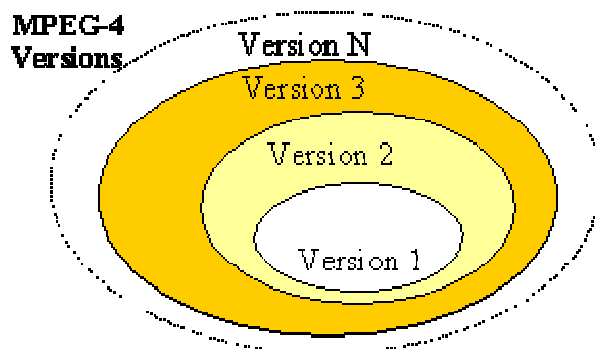


Figura 3.2 Versiones del estándar MPEG

De esta manera se observa como la versión 2 es compatible con la extensión de la versión 1 y así sucesivamente. Sin embargo, cada versión cuenta con características propias para el sistema, el audio, el video y el DMIF.

3.3.3 Transporte y DMIF

En principio MPEG-4 no define capas de transporte, pero se adapta a la existencia de capas ya existentes tales como la trama de transporte de MPEG-2 o bien el transporte definido por la red IP.

Delivery Multimedia Integration Framework (DMIF), es una interfase entre las capas de aplicación y transporte, permitiendo que la aplicación de MPEG-4 vaya en función de la disponibilidad del transporte. Algunas de las funcionalidades de DIMF son:

- Una interfase de aplicación transparente entre cualquier punto remoto ya sea un punto interactivo, un broadcast o almacenamiento local.
- Control para establecer los canales de FlexMux.
- Uso de una red interactiva homogénea entre los diferentes protocolos de comunicación de red.
- Soporte para redes móviles.

3.3.4 Sistemas y tipos de señales

MPEG-4 define un “set” o una caja de herramientas para el algoritmo de compresión de audio y video. Las tramas elementales que resultan del proceso de codificación pueden ser transmitidas y almacenadas por separado para posteriormente recomponerse como fueron creadas en el extremo receptor para poder crear una reproducción multimedia.

Los sistemas que forman parte de MPEG-4 direccionan la descripción de las relaciones entre el audio y el video que conforman una escena, esta relación se describe en dos niveles principales:

- El Formato Binario para Escena (BIFS) describe el arreglo espacio-tiempo para los objetos en la escena, permitiendo la interacción con el usuario; por ejemplo, el cambio de escena de manera acelerada o el cambio de perspectiva en un ambiente tridimensional.
- En el nivel inferior, Descriptor de Objetos (ODs), se define la relación entre las tramas elementales pertenecientes a cada objeto, por ejemplo las tramas de audio y video de una videoconferencia. ODs provee información adicional como las direcciones URLs (Uniform Resource Locator), las características del decodificador. La propiedad intelectual, etc.

Señales generales de audio

Soporta la codificación del rango general de audio desde las tasas de transmisión más bajas hasta la alta calidad proporcionada por técnicas de codificación avanzadas. Cubre un ancho de banda grande que se extiende desde el monocal hasta el multicanal. Una alta calidad puede ser obtenida con retrasos pequeños, ya que los sonidos pueden ser manipulados a una baja velocidad.

La voz puede ser codificada con una tasa de 2 kbps o hasta por encima de los 24 kbps empleando herramientas especiales para codificación de voz. Se logra un retardo bajo siempre y cuando se traten de aplicaciones en tiempo real. Adicionalmente MPEG-4 posee una herramienta para sintetizar el sonido de los instrumentos musicales y otros objetos que bien pueden ser calculados con formulas matemáticas.

Señales generales de video

Este estándar permite la codificación híbrida entre imágenes naturales y video sintetizadas en una sola escena; lo que permite la realización de montajes. Esta codificación soporta la codificación basada en pixeles y las secuencias de video como métodos de compresión de gráficos en dos y tres dimensiones. A continuación se enumeran los formatos y tasas de bits que soporta MPEG-4 para video:

1. Bitrates entre 5 kbps y mayores a 1 Gbps
2. Formatos progresivos y entrelazados
3. Resolución de 4x4 kpixeles

Experimenta una alta eficiencia en la compresión sin perdidas así como la capacidad de permitir el acceso aleatorio al video y pausar la reproducción en curso. La base de

contenido es la funcionalidad que permite la codificación de imágenes y video por separado así como su reconstrucción arbitraria. [12]

3.4 MPEG-4 parte 10

MPEG-4 parte 10 o H.264 es una norma que define un codec de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño.

La ITU-T planeó adoptar el estándar bajo el nombre de ITU-T H.264 y ISO/IEC bajo el nombre de MPEG-4 Parte 10 Codec de Vídeo Avanzado (AVC) y de aquí surgió el nombre híbrido de H.264/MPEG-4 AVC. Para empezar a programar el código del nuevo estándar adoptaron las siguientes premisas:

- La estructura DCT + Compensación de Movimiento de las versiones anteriores era superior a otros estándares y por esto no había ninguna necesidad de hacer cambios fundamentales en la estructura.
- Algunas formas de codificación de vídeo que habían sido excluidas en el pasado debido a su complejidad y su alto coste de implementación se volverían a examinar para su inclusión.
- Para permitir una libertad máxima de mejora en la codificación, la sintaxis se debería cambiar de forma que no fuera compatible con normas anteriores. [16]

En el H.264, al igual que en sus antecesores, se definen diferentes perfiles y niveles dentro de cada perfil, los cuales especifican restricciones en el tren de bits o bitstream. Cada perfil especifica un conjunto de características y los límites del decodificador aunque los codificadores no requieren de ningún conjunto particular de características de un perfil. Los niveles especifican los límites de los valores que deben tomar los elementos de la sintaxis de la recomendación o estándar. En cada perfil se utiliza la misma definición de niveles, pero las aplicaciones individuales solo pueden utilizar un nivel diferente en cada perfil. Por lo general, la carga de procesamiento del decodificador y la capacidad de memoria para un perfil dado, se desprende de los diferentes niveles.

En la primera versión del H.264 existen tres perfiles, el línea base o *baseline*, el principal o *main* y el extendido o *extended*. El perfil línea base se aplica a los servicios de conversación en tiempo real, como video conferencia y video teléfono. El perfil principal es para aplicaciones de almacenamiento digital de video y datos, así como de transmisión de televisión. El perfil extendido es aplicable también a servicios de multimedia en Internet. La última versión del H.264, define cuatro perfiles altos o superiores, definidos como extensiones del rango de fidelidad (Fidelity Range Extensions) para aplicaciones de distribución de contenido [17], así como para edición y post procesamiento (High, High 10, High 4:2:2 y High 4:4:4). El perfil alto, se desarrolló para procesar video de 8 bits con formato de muestreo de la crominancia de 4:2:0 y para aplicaciones que utilizan alta resolución. El perfil high 10, se desarrolló para procesar video de hasta 10 bits con formato de muestreo 4:2:0 de los cuadros de entrada, para aplicaciones que utilizan alta resolución y mayor exactitud. El perfil high 4:2:2, soporta el formato de muestreo de los cuadros de crominancia de 4:2:2 y hasta 10 bits por muestra de exactitud. El perfil 4:4:4

soporta el formato de muestreo de los cuadros de cromaticidad 4:4:4 y hasta 12 bits por muestra de exactitud, así como transformación residual entera de los cuadros de color para codificar señales RGB. Las relaciones entre perfiles se describen a continuación.

Partes comunes a todos los perfiles

- Rebanadas tipo I (Rebanadas codificadas utilizando predicción INTRA): Rebanada codificada utilizando la predicción de las muestras decodificadas dentro de la misma rebanada. Es decir, es codificada sin referencia para otras imágenes o tramas contenidas en la secuencia de video. Cualquier rebanada I trabaja como un punto de referencia para funcionalidad y accesos. Libera muy baja compresión.
- Rebanadas tipo P (Rebanadas codificadas utilizando codificación predictiva en un solo sentido): Rebanada codificada utilizando predicción Inter cuadro (INTER). Se utilizan como referencia los cuadros previamente decodificados con un vector de movimiento y un índice de referencia para predecir los valores de las muestras de cada bloque. Estas incorporan compensación de movimiento, siendo la compresión más alta que en las rebanadas I.
- Las rebanadas B requieren como referencia tanto las tramas futuras como las pasadas, las rebanadas B utilizan compensación e interpolación de movimiento logrando así un alto nivel de compresión.
- Utiliza el codificador CAVLC (Context-based Adaptive Variable Length Coding) para la codificación de la entropía. [17]

Resumiendo, este conjunto de extensiones denominadas de "perfil alto" son:

- La extensión High que soporta 4:2:0 hasta 8 bits/muestra
- La extensión High-10 que soporta 4:2:0 hasta 10 bits/muestra
- La extensión High 4:2:2 que soporta hasta 4:2:2 y 10 bits/muestra
- La extensión High 4:4:4 que soporta hasta 4:4:4 y 12 bits/muestra y la codificación de regiones sin pérdidas. [16]

3.4.1 Perfiles y niveles

Dentro de los perfiles, una larga variación de desempeños es posible. Por otra parte los niveles son un conjunto de derivaciones impuestas para los perfiles. La combinación de un perfil y un nivel produce una arquitectura muy bien definida para una cadena particular de bit. Los perfiles limitan la sintaxis (por ejemplo los algoritmos), mientras los niveles limitan los parámetros (velocidad de muestreo, dimensiones de las tramas, velocidad binaria codificada, etc.) Teniendo que cada perfil es utilizado de acuerdo a la aplicación, cada uno de estos perfiles cuenta con características propias que se mencionan a continuación:

Perfil línea base (Baseline)

- Ordenamiento flexible de macrobloques: Los macrobloques no necesariamente se ordenan horizontalmente y de izquierda a derecha (raster scan). Existe un mapa que asigna los macrobloques a un determinado grupo de rebanadas.

- Ordenamiento arbitrario de rebanadas: La dirección del primer macrobloque de una rebanada puede ser menor que la dirección del primer macrobloque de alguna rebanada anterior dentro mismo cuadro codificado.
- Rebanada redundante: Esta rebanada pertenece a datos redundantes ya codificados con igual o diferente velocidad binaria en comparación con los mismos datos codificados pertenecientes a la misma rebanada.

Perfil Principal (Main)

- Rebanadas tipo B (Rebanadas codificadas utilizando codificación Predictiva Bidireccional): Rebanada codificada utilizando predicción INTER con referencia de un cuadro previamente decodificado y utilizando a lo mas dos vectores de movimiento e índices de referencia para predecir los valores de las muestras de cada bloque.
- Predicción con peso: Esta es una operación de escalamiento en la cual se aplica un factor de peso a las muestras resultantes de la compensación de movimiento en rebanadas tipo P o B.
- Utiliza el codificador CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) para codificación de la entropía.

Perfil Extendido

- Se incluyen todas las partes del perfil línea base.
- Rebanadas tipo SP: Es un tipo de rebanada especial, codificada para cambiar eficientemente de resoluciones entre tramas de video (escalabilidad – capa de bits básicos + capa de ensanchamiento), es similar a la codificación de una rebanada tipo P.
- Rebanadas tipo SI: Igual que el anterior pero es similar a codificar una rebanada tipo I.
- Particionamiento de datos: Los datos codificados se colocan en particiones separadas en capas diferentes. Se utiliza para reducir errores durante la transmisión y para el empaquetamiento efectivo de los datos.
- Rebanadas tipo B: Se utiliza para predicción bidireccional, incrementa la calidad del video y la velocidad binaria.
- Predicción con peso.

Perfil Alto (High)

- Incluye todas las partes del perfil principal (Main).
- Transformación por bloques de tamaño adaptivo: DCT de 4x4 y transformación DCT entera para los bloques de luminancia. El tamaño del bloque a codificar dentro de un macrobloque puede ser diferente.
- Matrices de cuantización escaladas: Se utilizan diferentes escalas de acuerdo con frecuencias específicas asociadas con los coeficientes transformados para optimizar la calidad subjetiva del video.

Los niveles que son comunes a todos los perfiles, se muestran en la tabla 3.1, donde cada nivel soporta diferentes tamaños de cuadros de entrada (QCIF, CIF, ITU-R 601 (SDTV), HDTV, S-HDTV, Cinema Digital) [18]. Cada nivel ajusta los límites de las velocidades binarias, tamaño de la memoria para almacenar cuadros de referencia, etc.

Tabla 3.1 Características de los cuadros por nivel. [18]

Niveles	Tipo y velocidad de cuadros
1	QCIF @ 15 fps
1.1	QCIF @ 30 fps
1.2	CIF @ 15 fps
1.3	CIF @ 30 fps
2	CIF @ 30 fps
2.1	HHR @ 15 o 30 fps
2.2	SDTV @ 15 fps
3	SDTV: 720x480x30i 720x576x25i @ 10 Mbps (máximo)
3.1	1280x720x30p
3.2	1280x720x60p
4	HDTV: 1920x1080x30i 1280x720x60p 2kx1kx30p @ 20 Mbps
4.1	HDTV: 1920x1080x30i 1280x720x60p 2kx1kx30p @ 50 Mbps
4.2	HDTV: 1920x1080x60i 2kx1kx60p
5	SHDTV/Cinema Digital: 2.5kx2kx30p
5.1	SHDTV/Cinema Digital: 4kx2kx30p

Teniendo también en cada nivel limitaciones en cuanto a velocidad de procesamiento, tamaño del cuadro, relación de compresión etc. Se muestran estas características en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Características de las limitaciones de los distintos niveles. [18]

Nivel	Vel. max. de procesamiento o del macrobloque (Mbps)	Tamaño o max. del cuadro (Mbps)	Tamaño max. de la memoria para el cuadro decodificado o (1024 bytes)	Máxima velocidad binaria (1000 bps or 1200 bps)	Rango de la componente vertical del vector de movimiento (muestras de luminancia)	Relación de compresión mínima	Número máximo de vectores de movimiento por cada dos Mb consecutivos
1	1485	99	148.5	64	[-64,+63.75]	2	-
1.1	3000	396	337.5	192	[-128,+127.75]	2	-
1.2	6000	396	891.0	384	[-128,+127.75]	2	-
1.3	11880	396	891.0	768	[-128,+127.75]	2	-
2	11880	396	891.0	2000	[-128,+127.75]	2	-
2.1	19800	792	1782.0	4000	[-256,+255.75]	2	-
2.2	20250	1620	3037.5	4000	[-256,+255.75]	2	-
3	40500	1620	3037.5	1000	[-256,+255.75]	2	32
3.1	108000	3600	6750.0	14000	[-512,+511.75]	4	16
3.2	216000	5120	7680.0	20000	[-512,+511.75]	4	16
4	245760	8192	12288.0	20000	[-512,+511.75]	4	16
4.1	245760	8192	12288.0	50000	[-512,+511.75]	2	16
4.2	491520	8192	12288.0	50000	[-512,+511.75]	2	16
5	589824	22080	41310.0	135000	[-512,+511.75]	2	16
5.1	983040	36864	69120.0	240000	[-512,+511.75]	2	16

3.4.2 Estructura de las capas MPEG-4 parte 10

El H.264 se compone de dos capas, la capa de la red de abstracción (NAL, Network Abstraction Layer) y la capa de codificación del video (VCL, Video Coding Layer). NAL abstrae los datos para hacer compatible al tren de bits de salida del codificador con casi todos los canales de comunicación o medios de almacenamiento. Esta unidad de red especifica los datos en un formato de bytes (byte-stream) o de paquetes. El formato de bytes define patrones de bytes o de bits utilizados en el estándar H.320 o en el MPEG-2. El formato de paquetes, define paquetes de datos identificables por protocolos de transporte para aplicaciones de RTP/UDP/IP [19].

La capa VCL constituye el núcleo de los datos codificados. Esta consiste en la secuencia de video a codificar, cuadros o campos dentro de la secuencia de video con tres arreglos de muestras (luminancia, crominancia o RGB), rebanadas dentro de cada cuadro y macrobloques dentro de cada rebanada, así como bloques dentro de cada macrobloque. El H.264 soporta búsqueda (escaneo) progresiva y entrelazada, la cual puede mezclarse dentro de la misma secuencia. El perfil línea base se limita únicamente a búsqueda progresiva. Los cuadros se dividen en rebanadas. Una rebanada de video es una secuencia de macrobloques que pueden tener distintos tamaños (tamaños flexibles). En el caso de grupos de rebanadas, la posición de un macrobloque se determina por medio de un mapa que representa al grupo de rebanadas. El mapa indica a cual grupo de rebanadas pertenece el macrobloque [20].

3.5 Algoritmo de codificación de video MPEG4

En el algoritmo de codificación del H.264, el codificador debe seleccionar entre codificación INTRA o INTER. En codificación INTRA se utilizan varios modos de predicción para reducir la redundancia espacial de un solo cuadro. La codificación INTER es mas eficiente y se utiliza en la codificación tipo P o B (predictiva o bidireccional) de cada bloque de muestras. En esta codificación se utilizan como referencia los cuadros decodificado previamente. La codificación INTER utiliza vectores de movimiento para reducir la redundancia temporal entre cuadros. La predicción se obtiene después de filtrar el bloque anterior reconstruido. El filtro reduce los artefactos o distorsiones introducidos en las orillas de un bloque debido a la cuantización. Los vectores de movimiento y el modo de predicción INTRA pueden tener varias especificaciones dependiendo del tamaño de los bloques a codificar. Antes de ser cuantizado, el error o predicción residual se comprime aun mas utilizando una transformada la cual remueve la correlación espacial del bloque. Finalmente, los vectores de movimiento y los coeficientes cuantizados se codifican utilizando codificadores de entropía tales como el CAVLC (Context-Adaptive Variable Length Codes) o el CABAC (Context-Adaptive Binary Arithmetic Codes) [21].

3.5.1 Predicción Intracuadro (modo INTRA)

Los estándares anteriores al MPEG-4 llevan a cabo la predicción INTRA, codificando independientemente cada macrobloque (MB) como si se tratara de la codificación de una imagen [22], ya que se necesita que tengan la menor distorsión posible para que sirvan de referencia a la codificación INTER. La codificación INTRA también se aplica dentro de rebanadas codificadas en modo INTRA o en macrobloques que contienen una corrección temporal inaceptable aunque se haya utilizando compensación de movimiento (macrobloques INTER con una distorsión por encima de un nivel de referencia específico).

Este efecto provoca que se incremente el número de bits en el modo INTRA, haciendo imposible reducir la velocidad binaria.

El H.264 utiliza el concepto de predicción INTRA para codificar bloques o macrobloques de referencia y reducir la cantidad de bits codificados. Para codificar un bloque o macrobloque en modo INTRA, se forma un bloque de predicción basado en un bloque reconstruido previamente dentro del mismo cuadro y sin filtrar. Posteriormente, se codifica la señal residual (error) entre el bloque actual y la predicción, disminuyendo considerablemente la cantidad de bits que representan al bloque actual. El bloque de luminancia bajo predicción, puede formarse por subbloques de 4x4 muestras o por todo el bloque de 16x16 muestras. Para cada bloque de luminancia de 4x4, se selecciona un modo de predicción de nueve modos existentes. Existen cuatro modos de predicción para bloques de luminancia de 16x16 muestras. Solo existe un modo de predicción para cada bloque de crominancia de 4x4 muestras.

3.5.2 Predicción Intercuadro (modo INTER)

La predicción INTER, la estimación del movimiento y la compensación del movimiento son tres factores que ayudan a reducir la redundancia o correlación temporal. En el H.264, el cuadro actual puede partitionarse en macrobloques o bloques más pequeños. La compensación de movimiento realizada con bloques más pequeños, incrementa la ganancia de la codificación, a costa de incrementar el número de datos necesarios para representar la compensación. En el proceso de codificación INTER, se pueden procesar bloques de hasta 4x4 muestras de luminancia, utilizando una exactitud en los vectores de movimiento de hasta un cuarto de muestra. El proceso de predicción INTER de un bloque involucra la selección de cuadros reconstruidos previamente que están almacenados en la memoria del sistema. Los vectores de movimientos se codifican utilizando una técnica diferencial. A diferencia de otros estándares, en el H.264 las rebanadas codificadas bidireccionalmente se pueden utilizar como referencia para la codificación INTER de otros cuadros.

3.5.3 Tamaños variables de bloques

Un macrobloque de luminancia de 16x16 muestras, puede dividirse en pequeños bloques de hasta 4x4, como se muestra en la figura 3.3. Existen cuatro casos: 16x16, 16,8, 8x16 y 8x8 para los macrobloques de 16x16. También existen cuatro casos para un macrobloque de luminancia de 8x8: 8x8, 8x4, 4x8, 4x4. Entre mas pequeño sea el bloque bajo predicción, mayor será el número de bits para representar los vectores de movimiento y otros datos tales como el tipo de partición; sin embargo, si se utilizan particiones pequeñas se puede reducir considerablemente el error o residuo resultante de la compensación de movimiento. La selección del tamaño de la partición depende de las características del video de entrada. En general, una partición grande es beneficiosa cuando las muestras del bloque son homogéneas y una partición pequeña cuando no existe homogeneidad [23].

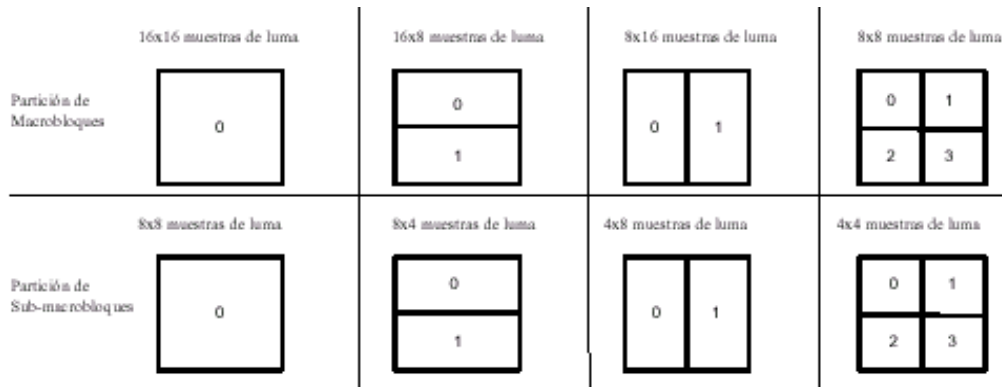


Figura 3.3. Tamaños de bloques [23]

3.5.4 Filtro de desbloqueo.

El filtro de desbloqueo básicamente remueve la distorsión debida a la cuantización en los bordes de los bloques. De manera que el proceso de codificación involucra macrobloques con distintas características, algunos con mayor correlación que otros. Para mantener una cierta velocidad binaria, los bloques INTRA o INTER se cuantizan utilizando diferentes cuantizadores, los cuales introducen distorsión o artefactos indeseables alrededor de los bloques reconstruidos. En estándares anteriores, el filtro de desbloqueo era solo una recomendación (opcional) del estándar, en el H.264, el filtro de desbloqueo es parte obligatoria del mismo.

El filtro utilizado en el H.264 reduce la distorsión en los bordes del bloque y evita que el ruido acumulado debido a la codificación se propague. El MPEG-1 y MPEG -2 no utilizan este filtro debido a la complejidad de su implementación. Por otra parte, la distorsión en estos estándares se reduce utilizando compensación de movimiento con exactitud de 1/2 muestra. En el H.264 el filtrado se aplica a los bordes de bloques de 4x4 muestras de un macrobloque como se muestra en la figura 3.4. El filtro procesa por separado los bloques de luminancia y crominancia. El proceso de filtrado para bloques de luminancia, se lleva a cabo en cuatro bordes de 16 muestras cada uno y el proceso de filtrado de luma en dos bordes de 8 muestras. La figura 3.4(a) muestra el proceso de filtrado horizontal (afecta bordes verticales) y la figura 3.4(b) el proceso de filtrado vertical (afecta bordes horizontales).

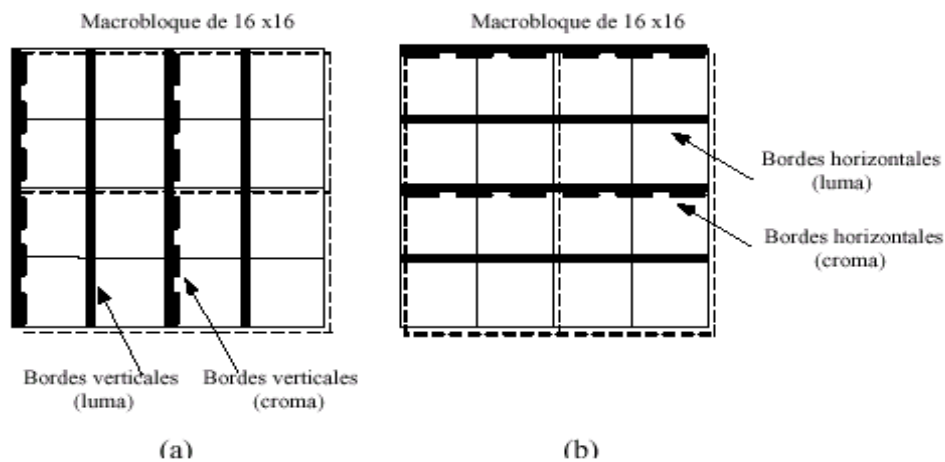


Figura 3.4 Bordes en del macrobloque a filtrarse (los bordes de luminancia se muestran con líneas sólidas y las de crominancia con líneas entre cortadas o guiones).

El filtro se aplica adaptivamente en viarios niveles.

- A nivel rebanada: El filtrado se puede ajustar a las características individuales de la secuencia de video.
- A nivel de borde de bloque: El filtrado se vuelve independiente de la decisión INTRA/INTER de las diferencias de movimiento y de la presencia de residuos codificados en los dos bloques participantes en el filtrado.
- A nivel muestra: El efecto de filtrado se puede anular dependiendo de los valores de las muestras y de los umbrales del cuantizador.

3.5.5 Transformación y cuantización.

El H.264 se basa en la codificación de macrobloques, utiliza transformadas para remover la redundancia espacial [22]. Los cuadros de entrada al codificador, así como los residuos, resultado de la predicción, contienen una correlación o redundancia espacial alta. Después de la predicción INTER cuadro, o predicción espacial basada en las muestras de cuadros previamente decodificados con respecto al cuadro actual (bajo predicción), el residuo o predicción resultante se divide en bloques de 4x4 u 8x8 muestras, los cuales se convierten al domino de la frecuencia y los coeficientes resultantes se cuantizan.

El H.264 utiliza una transformada de tamaño adaptivo de 4x4 y de 8x8 (perfiles altos); los estándares anteriores utilizaban únicamente la transformada DCT de 8x8. Una transformada de 4x4 es mucho menos compleja, ya que necesita menos multiplicaciones para llevar a cabo una transformación. También, si el codificador decide procesar un bloque de menor tamaño, las distorsiones en los bordes del mismo bloque se reducen significativamente.

En algunas aplicaciones se requiere reducir el tamaño de los pasos de los cuantizadores para aumentar la relación señal a ruido pico (PSNR, Peak Signal to Noise Ratio) a niveles que se consideran visualmente sin pérdidas. Para lograr esto, el H.264 extiende el rango de los pasos de cuantización (QP), teniendo que redefinir las tablas de cuantización y permitiendo que QP pueda ser variable.

En general, la transformación y la cuantización requieren de varias multiplicaciones, esto eleva la complejidad de su implementación. Por lo tanto, para lograr una implementación mas simple, el proceso de transformación exacta se modifica para reducir el número de multiplicaciones, resultando en una transformada entera, la cual integra en proceso de transformación, cuantización y escalamiento, este proceso se llama trasformación entera con post escalamiento.

3.5.6 Codificación en entropía

En estándares anteriores (MPEG-1, 2, H.261 y H.263), la codificación de la entropía se basa en tablas previamente definidas, las cuales contienen los códigos de longitud variable (VLC) [24], donde el conjunto de palabras de código en las tablas se basa en distribuciones de probabilidad de datos obtenidos en secuencias de video genérico, en lugar de utilizar la codificación exacta para codificar la secuencia en cuestión.

El H.264 utiliza diferentes VLCs a fin de igualar el símbolo que representa un dato de video, con un código basado en las características del contexto en el que se encuentra el símbolo. Todos los elementos de la sintaxis se codifican utilizando el código Exp-Golomb, excepto los datos residuales [25]. A fin de leer los datos residuales (coeficientes transformados y cuantizados) se utiliza una búsqueda en zigzag o una búsqueda alternada (campos de cuadros de video no entrelazados). Para codificar los datos residuales, se utiliza un método más sofisticado llamado código de longitud variable adaptivo basado en el contexto (CAVLC). En los perfiles principal y alto, también se utiliza otro método llamado CABAC pero es más complejo que el CAVLC.

3.5.7 Codificación adaptiva y aritmética

Código adaptivo de longitud variable basado en el contexto (CAVLC). Después de la transformación y la cuantización, la probabilidad de que el valor de un coeficiente sea cero o +/- 1 es muy alta. Por lo tanto, se codifica el número total de ceros y +/- 1 que ocurren.

Para los demás coeficientes solo se codifica su nivel. Por ejemplo, suponiendo que los siguientes coeficientes se van a codificar utilizando CAVLC

orden	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	16
coef.	c0	c1	c2	0	1	1	0	-1	0	0	...	0

Las reglas que utilizaría el CAVLC son:

Paso 1: Se utiliza una palabra de código de una tabla, para expresar el número de coeficientes diferentes de cero, 6 (orden 0, 1, 2, 4, 5, 7) con magnitud uno, 3 (orden 4, 5, 7).

Paso 2: Se forma una palabra de código para indicar los signos de los unos en orden inverso de la siguiente forma, - (orden 7), + (orden 5) y + (orden 4).

Paso 3: Se utiliza una palabra de código para cada nivel de los coeficientes restantes en orden inverso esto es, una palabra de código para c2 (orden 2), c1, y c0.

Paso 4: Se utiliza una palabra de código para indicar en número de ceros, 2 (orden 3, 6)

Paso 5: Las palabras de código resultantes se codifican utilizando run-length en orden inverso, esto es, una palabra de código para 1 (orden 6-5), 0 (orden 4), 1 (orden 3-2).

Código Aritmético Binario Adaptivo Basado en el Contexto (CABAC). CABAC utiliza la codificación aritmética a fin de obtener una buena compresión. El modelo de probabilidad se actualiza con cada símbolo como se muestra en la figura 3.5 [21].

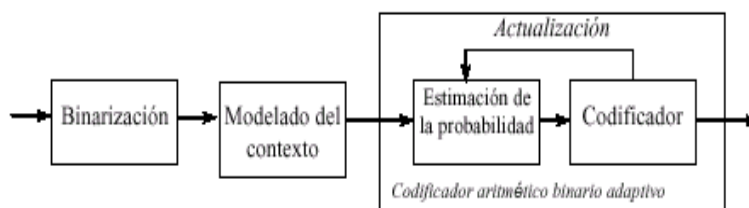


Figura 3.5 Diagrama a bloques del CABAC. [21]

Paso 1. Binarización. Proceso por el cual un símbolo no binario (coeficiente transformado, vector de movimiento, etc.) se mapea a una secuencia binaria única antes de aplicar la codificación aritmética.

Paso 2. Modelado del contexto. Un modelo de un contexto es un modelo de probabilidades para uno o más elementos de un símbolo binarizado. El modelo de probabilidad de selecciona de tal forma que dicha selección depende solo de elementos de la sintaxis previamente codificados.

Paso 3. Codificación binaria aritmética. Se utiliza el código aritmético para codificar cada elemento de acuerdo con la selección del modelo de probabilidad.

IV. Simulación de la implementación de un algoritmo de procesamiento paralelo de video.

4.1 Diseño del algoritmo de codificación de video bajo el estándar MPEG4

Una de las razones de que no es tan común la comunicación basada en video a través de Internet, es porque el video requiere un ancho de banda considerable para ser transmitido por este medio. Una alternativa es ampliar el ancho de banda en los canales de comunicación, lo cual aun con los avances logrados en recientes años, resulta sumamente costoso. La otra alternativa es comprimir el video para poder enviarlo a través de una red IP. Esta ultima alternativa es la que más se ha usado y ha dado mejores resultados. Los buenos resultados en la compresión se deben a que se han desarrollado sofisticados algoritmos de compresión de video como MPEG o H323 que minimizan la redundancia en el video. Sin embargo estos algoritmos de compresión requieren mucho tiempo para codificar un flujo de video, haciendo imposible la transmisión en tiempo real. [26]

Es así como la opción más viable sigue siendo la compresión de la información para un uso eficiente de los recursos de las redes. Actualmente este proceso de compresión en línea (en el momento que se recibe en video, comprimirlo y enviarlo) requiere de mucha capacidad de cómputo, supercomputadoras que resultan caras y poco accesibles al usuario común.

Por otro lado, las tecnologías para el manejo de información han evolucionado rápidamente, dando lugar a nuevos sistemas, tales como los de video conferencias que permiten distribuir flujos de video mediante una red. Estos sistemas suelen ser caros, ya que requieren infraestructura especial, tal como conectividad de banda ancha y computadoras de alto desempeño [26].

Son las computadoras de alto desempeño un punto importante a tomar en cuenta cuando se procesa información en grandes cantidades pretendiéndolo hacer en el menor tiempo posible, como por ejemplo, video. Ya que de la fuerza de éstas depende todo el procesamiento que se traduce en tiempo de transmisión y calidad de experiencia del usuario final. Sin embargo, el uso de estas máquinas se refleja en un alto costo para la implementación, por lo que se pueden buscar alternativas para alcanzar los mismos resultados obtenidos con una arquitectura distinta en elementos pero similar en alcances.

La eficiencia de los algoritmos de compresión se basa especialmente en la eliminación de la redundancia de la información que contienen las imágenes que se van a comprimir; posteriormente video. Esta eliminación va enfocada en dos aspectos principalmente:

La redundancia espacial. Toma como información de entrada una maya de píxeles (frame), en la cual se reduce la información redundante (como los fondos de áreas grandes de la imagen), usando algoritmos de compresión, como el JPEG.

La redundancia temporal. Consiste en tomar en cuenta que mucha de la información de un frame se repite también en los siguientes, con lo cual se puede reducir más información, si se codifican solo los cambios con respecto al anterior. Esto se logra a

través de Algoritmos de Estimación de Movimiento que calculan la trayectoria que seguirá la parte del frame que no cambia.

Estas técnicas de compresión son muy efectivas ya que pueden ahorrar hasta un 90% de espacio, sin embargo requieren de mucho tiempo para llevar a cabo este proceso tan complejo.

Estos algoritmos de compresión, están pensados para dar excelentes resultados en el tamaño de video codificado, pero sin considerar el tiempo de compresión requerido. Como el proceso de codificación suele requerir mucho poder de computo generalmente se obtiene usando computadoras superescalares que ayuden con su “fuerza bruta” computacional a llevar a cabo este proceso, con tiempos de retardo aceptables.

Una alternativa que se ha empezado a estudiar y que no requiere costosas computadoras, es el uso de arquitecturas alternativas basadas en computadoras de capacidades estándar [26], las cuales abundan en todos los lugares.

La propuesta que se hace en este trabajo se basa precisamente en la idea de una arquitectura de computadoras estándar que se encarguen del proceso de codificación de manera conjunta y a la vez; es decir, repartir el trabajo correspondiente al procesamiento de codificación entre todas las maquinas dispuestas en el diseño de la arquitectura en lugar de dejar que todo el trabajo se vea realizado por una supercomputadora para comprobar que el mismo procesamiento se puede realizar en un tiempo menor.

La comparación de la manera en como actualmente se lleva a cabo el procesamiento de codificación de video y la alternativa que se propone en este trabajo, se esquematiza en las Figuras 4.1 y 4.2:

➤ Algoritmo actual

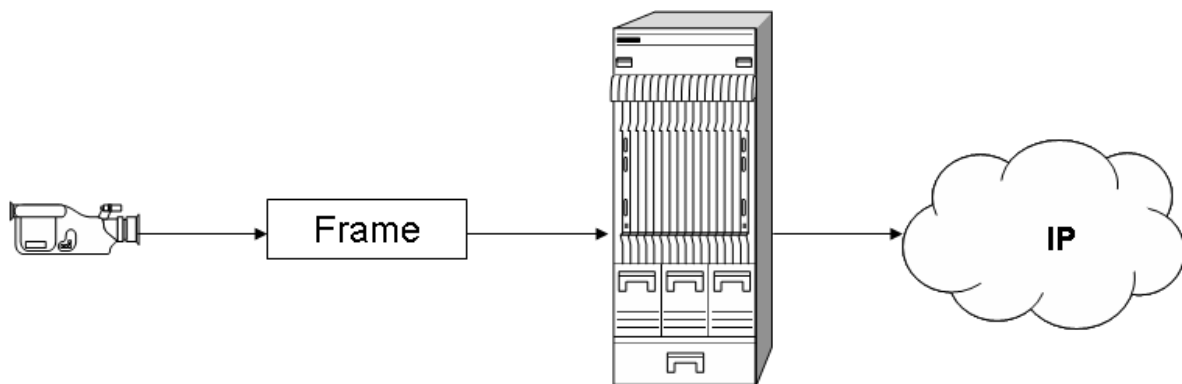


Fig 4.1 En el algoritmo actual, los proveedores de contenido entregan al “head end” el contenido, pudiendo éste estar en algún formato solicitado por el proveedor de telecomunicaciones; en su defecto, el proveedor de telecomunicaciones por medio de su “head end” le dará el formato necesario para su procesamiento. Procesamiento que se lleva a cabo de manera secuencial en una supercomputadora que entrega su salida (frame de video codificado) a una red IP.

➤ Algoritmo propuesto

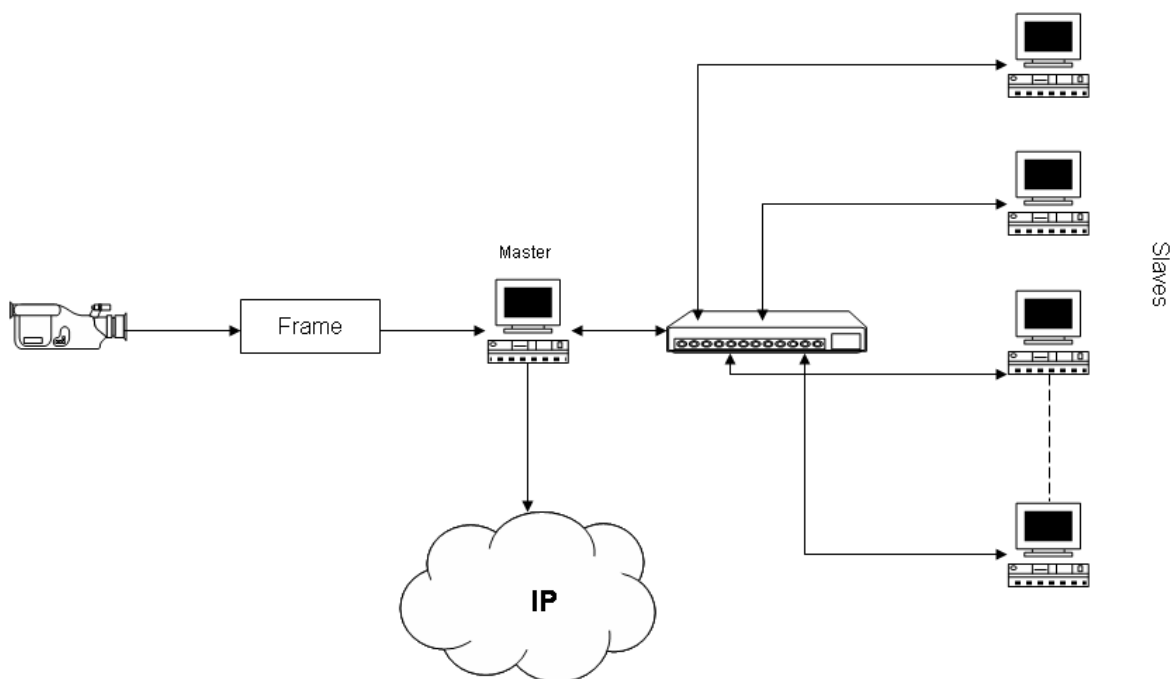


Fig 4.2 En el algoritmo propuesto, de la misma manera el proveedor de contenido entregará al “head end” la información con cierto formato, o en su defecto el proveedor de telecomunicaciones se lo dará. La diferencia en esta propuesta radica en que el frame original no va a ser procesado por una supercomputadora y entregado posteriormente a una red IP. Aquí el frame será entregado a una PC estándar que funcionará como Master el cual se encargará de segmentar y hacer la repartición de dichos segmentos a las PCs que funcionarán como esclavos; los cuales procesarán por separado un segmento del frame de video original para posteriormente regresar el segmento codificado a la PC Master, la cual reensambla los segmentos codificados del frame y lo envía a una red IP.

En el algoritmo propuesto, el número de PCs dependerá del diseño del algoritmo; en este caso el número es de 4, 8 y 16 máquinas dependiendo del tamaño del contenido. Esto se explicará más detalladamente en la explicación del diagrama de flujo a continuación presentado.

Es importante hacer notar que el algoritmo programado no intenta hacer ninguna mejora al algoritmo existente de compresión MPEG4; el algoritmo está enfocado en hacer más rápido el proceso de codificación.

Por lo que algunas premisas a tomar en cuenta antes de la explicación del desarrollo del algoritmo son importantes hacer notar:

- Para poder probar la eficiencia del algoritmo es necesario compararlo con el algoritmo actual, por lo que es necesario entonces encontrar condiciones semejantes entre ambos algoritmos que permitan corroborar las ventajas y/o desventajas que el algoritmo propuesto pueda tener.
- La programación del algoritmo toma aspectos generales de la especificación MPEG4. Debido a la complejidad de este estándar, es que los aspectos relevantes

con respecto a versiones anteriores del estándar MPEG fueron los considerados para llevar a cabo lo correspondiente al proceso de codificación dentro del algoritmo completo.

- Las pruebas del procesamiento actual y el propuesto en este trabajo, se realizaron sobre el código fuente desarrollado en este trabajo ya que de esta manera es como se puede confiar plenamente en las diferencias entre los dos algoritmos, el actual y el propuesto.
- Para poder llevar a cabo las pruebas del algoritmo actual con el código fuente desarrollado en este trabajo, se tuvieron que hacer algunas modificaciones en el código para acondicionarlo; modificaciones que sin embargo no repercuten en aspectos relevantes del procesamiento. Sólo se evita la segmentación del contenido original.
- Las pruebas fueron realizadas en una PC con procesador Intel Centrino Duo @ 1.6 GHz. Con lo que hay que resaltar que los resultados pueden variar si se realizan en máquinas más, o menos poderosas; diferencias que sin embargo no harán cambiar el resultado general que se busca alcanzar; simplemente existirá una proporción de acuerdo al tipo y características del procesador utilizado.

A continuación se muestra la Tabla 4.1 donde se pueden observar las especificaciones de software y hardware utilizados en las pruebas; esto con el fin de visualizar las variaciones en los resultados al existir modificaciones principalmente en hardware:

Tabla 4.1 Software y hardware utilizados para la realización de pruebas.

Software	Lenguaje	Versión
	MATLAB	7.0 Release 14

Hardware	Equipo	Características
	PC	Procesador Centrino Duo @ 1.6 GHz

4.1.1 Desarrollo

A continuación en la Figura 4.3 se esquematiza el diagrama de flujo del algoritmo propuesto, para a continuación dar una más amplia explicación del mismo:

Diagrama de Flujo

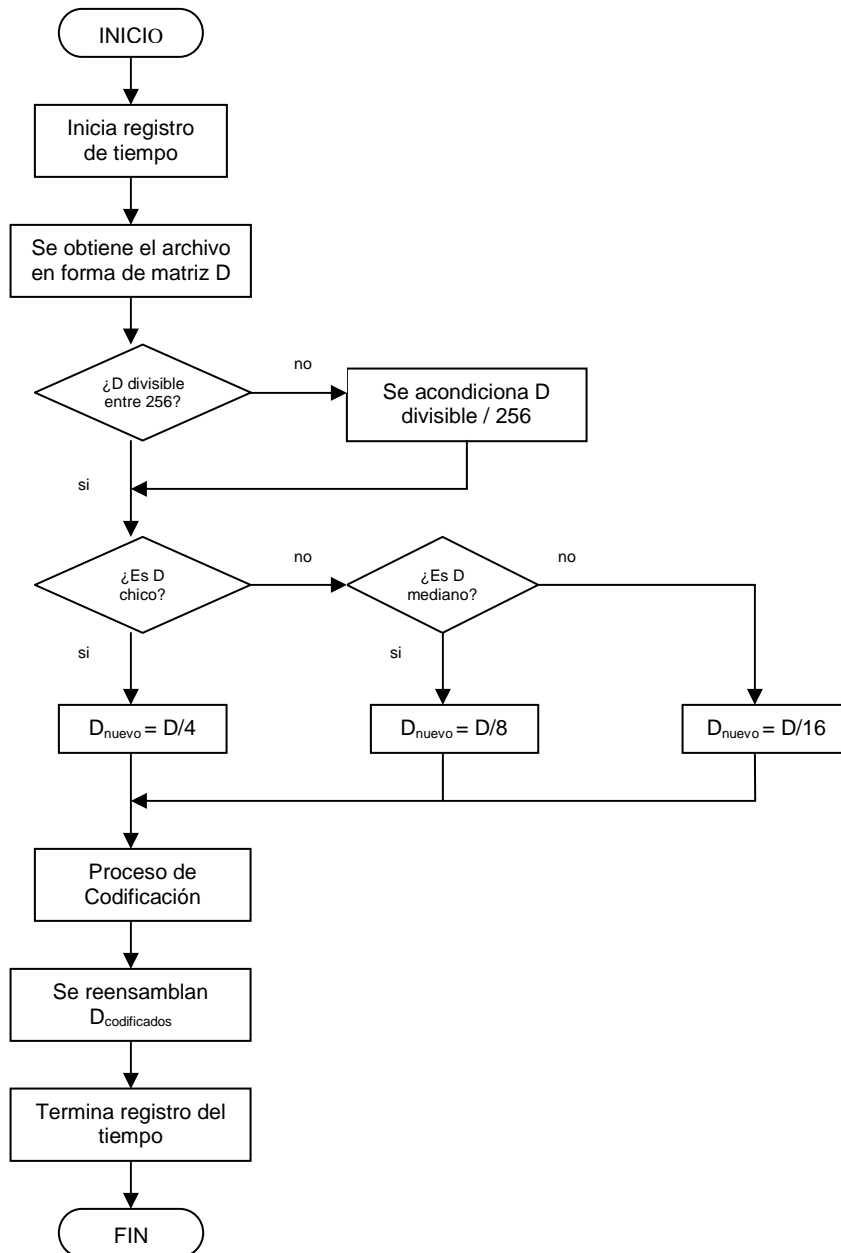


Fig 4.3 Esquema del diagrama de flujo del algoritmo propuesto.

Descripción del diagrama de flujo.-

Se inicia el proceso; es decir, se comienza a ejecutar el algoritmo programado en MATLAB, con lo que se inicia el conteo para el registro del tiempo antes que otra instrucción se ejecute.

Es necesario para poder comenzar a ejecutar las operaciones con la información, tener ésta de la manera adecuada para la lectura y compilación del lenguaje de programación utilizado; en este caso MATLAB 7.0.

Para lo anterior, MATLAB maneja todos los valores como vectores y matrices de datos, simplificando o colaborando con el hecho de que el procesamiento de imágenes y video se realiza de igual manera con matrices de datos. Es así como el primer paso del algoritmo es obtener la información, en este caso, el archivo de video y/o imagen de entrada en forma de matriz que para fines del diagrama de flujo lo llamaremos "D". Una vez teniendo la información necesaria de la manera necesaria, es suficiente para poder trabajar con ésta y comenzar a aplicarle los pasos necesarios para conseguir el objetivo planteado.

Una vez obtenido el archivo en forma de matriz se lleva a cabo la primera consideración que consiste en revisar si el número de datos contenidos en la matriz D es múltiplo de 256, valor que se elige basado en los valores reales de los bloques que se toman en el procesamiento de imágenes; por lo que éste valor no se restringe al 256 ya que puede ser diferente al propuesto. Por consiguiente ya elegido este valor, la matriz D debe ser acondicionada para tener un número de datos múltiplo de 256 para lo cual existen dos opciones, la primera es eliminar el número de datos sobrantes lo cual resulta en pérdida de una parte de la información original lo que en principio no es la mejor opción dado que esa información eliminada puede ser relevante. Por lo que la segunda opción que toma en cuenta el algoritmo, es la opuesta a la ya presentada; es decir, aumentar datos en lugar de eliminarlos. Dichos datos agregados se considerarán como ceros, mismos que no afectarán en el procesamiento consecuente más sin embargo ayudarán en el cumplimiento de la condición de tener un número de datos múltiplo de 256.

Después de haber acondicionado al matriz D de acuerdo a la condición antes explicada, es necesario someterla a otra decisión, la cual consiste en ubicarla o clasificarla como una matriz pequeña, mediana o grande; clasificación que se basa en el tamaño del archivo de video y por consiguiente de la matriz D. De igual manera, esta clasificación es propuesta basándose en los tamaños de los archivos manejados en las pruebas del programa por lo que éstos pueden ser modificados posteriormente.

La clasificación de tamaños engloba a los archivos en tres categorías: pequeño, mediano o grande con el fin de contemplar el número de divisiones en el cual la matriz D será dividida; ya sea en 4, 8 o 16 segmentos de acuerdo a la clasificación de tamaño antes mencionada.

Una vez hecha la segmentación de la matriz D en sus correspondientes partes, es tiempo de iniciar la parte de codificación de la información. El proceso de codificación en el cual está basado el algoritmo es el MPEG4; más es importante resaltar que el algoritmo no contempla la programación del algoritmo MPEG4 tal cual, ya que sólo fueron

programados aspectos generales que le dan forma al algoritmo que sigue MPEG4 para comprimir información. Con esto no se pretende simplificar el algoritmo existente en lo absoluto, sin embargo se toma como base para poder hacer las pruebas para extrapolar los resultados obtenidos en este trabajo y contemplar los resultados obtenidos para pruebas con el algoritmo completo que puede ser muy complejo dado que en el estándar se definen ciertos lineamientos a seguir; más sin embargo, no se especifica una metodología para la programación de MPEG en general.

Lo referente al proceso de codificación seguido por el algoritmo se indica conjuntamente con el código fuente.

Ya terminado el procesamiento de codificación como tal de manera separada para cada segmento, lo único que queda es volver a unir o reensamblar los respectivos bloques que anteriormente fueron separados; esto se hace mediante una referencia al momento de segmentar el archivo original. Es así como finalmente se recupera el archivo procesado y completo, del cual se pueden observar las diferencias con el original y concluir con respecto a las mejoras del algoritmo así como las partes deficientes del mismo que pueden por consiguiente ser mejoradas; todo esto basado en los resultados arrojados.

Finalmente y como paso importante para los resultados es terminar con el registro del tiempo del procesamiento completo del algoritmo, ya que este paso es el que nos permite decidir a primera instancia si los resultados son satisfactorios o no. Dando fin al procesamiento ejemplificado en el diagrama de flujo.

Cabe señalar que los gráficos que se presentan como resultados, pueden o no ser parte del código fuente del algoritmo; más se encuentran fuera del registro del tiempo, ya que estos no deben influir en las comparaciones con los dos casos presentados.

Es importante resaltar que estas simulaciones se realizan únicamente a nivel de software; por lo que al momento de una implementación física, tienen que ser tomados en cuenta otros factores en la implementación de la arquitectura distribuida, ya que el algoritmo tendría que estar presente en los equipos Master y Slaves; lo cual corresponde a una programación distribuida que por si sola es un trabajo extenso y se considera como aparte de este trabajo.

4.2 Simulación del algoritmo existente de codificación de video bajo el estándar MPEG4.

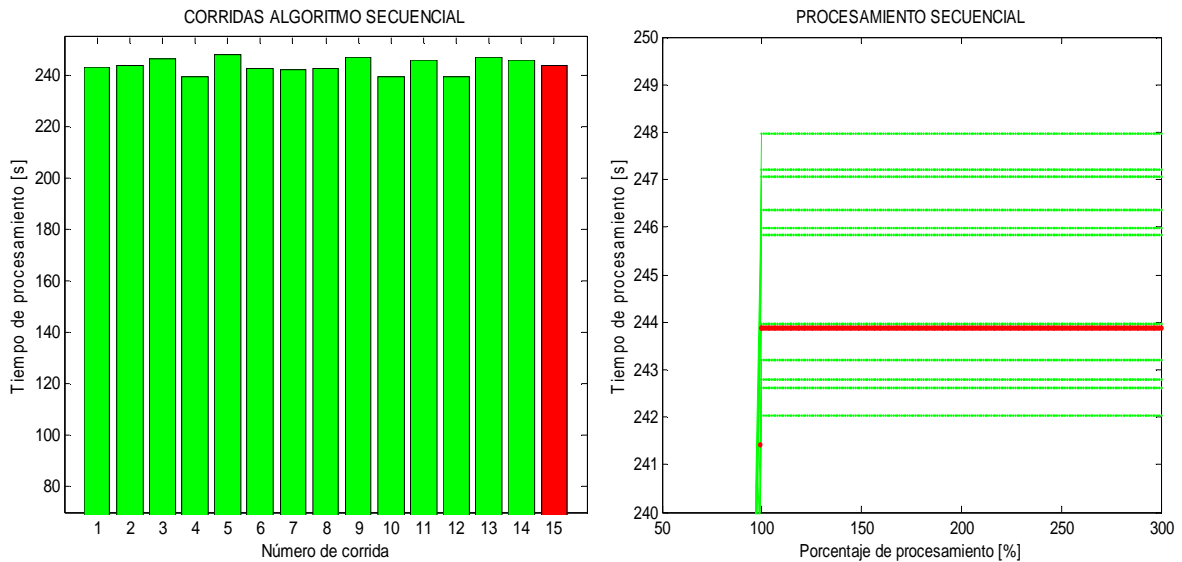
Para la simulación del algoritmo de codificación existente, se utilizó sólo una parte del código del algoritmo propuesto; es decir, se omiten todas las partes que hacen uso y referencia de la segmentación de la información. Esta parte del código se encuentra en el Apéndice III.

Las corridas del código fuente fueron realizadas en varias ocasiones, registrando 15 valores, donde el último corresponde al valor más representativo de los 14 valores anteriores; esto con el fin de tener la certeza de que el algoritmo es estable.

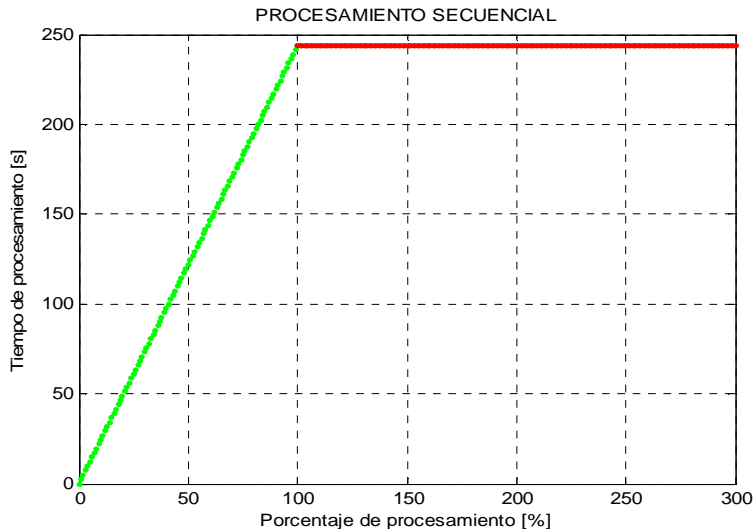
A continuación se presenta la Tabla 4.2 con los valores en tiempo correspondientes a cada una de las corridas así como también las gráficas arrojadas por esta simulación; de la cual el código fuente se encuentra en el Apéndice V:

Tabla 4.2 Valores alcanzados en tiempo correspondientes a cada prueba; teniendo como último valor al más representativo de las 14 pruebas.

No. de Corrida	Tiempo de Procesamiento [s]
1	243.1875
2	243.9531
3	246.3594
4	239.6250
5	247.9688
6	242.6094
7	242.0313
8	242.7813
9	247.2031
10	239.8125
11	245.8281
12	239.7031
13	247.0625
14	245.9844
Media	243.8650



Grafica 1. En estas gráficas se muestra el tiempo que se llevó el programa en procesar el archivo de video completo en cada una de las 14 pruebas, teniendo como el valor más representativo, el de la barra 15 y/o línea roja.



Gráfica 2. En esta gráfica se muestra el tiempo alcanzado después de procesar completo el archivo de video. Ejemplificando con color verde las secciones más complejas para procesar dentro del algoritmo. Y con color rojo el valor total alcanzado después de concluir con dicho procesamiento.

4.3 Simulación del algoritmo propuesto para la codificación de video bajo el estándar MPEG4.

4.3.1 Simulación del algoritmo propuesto a 4 segmentos.

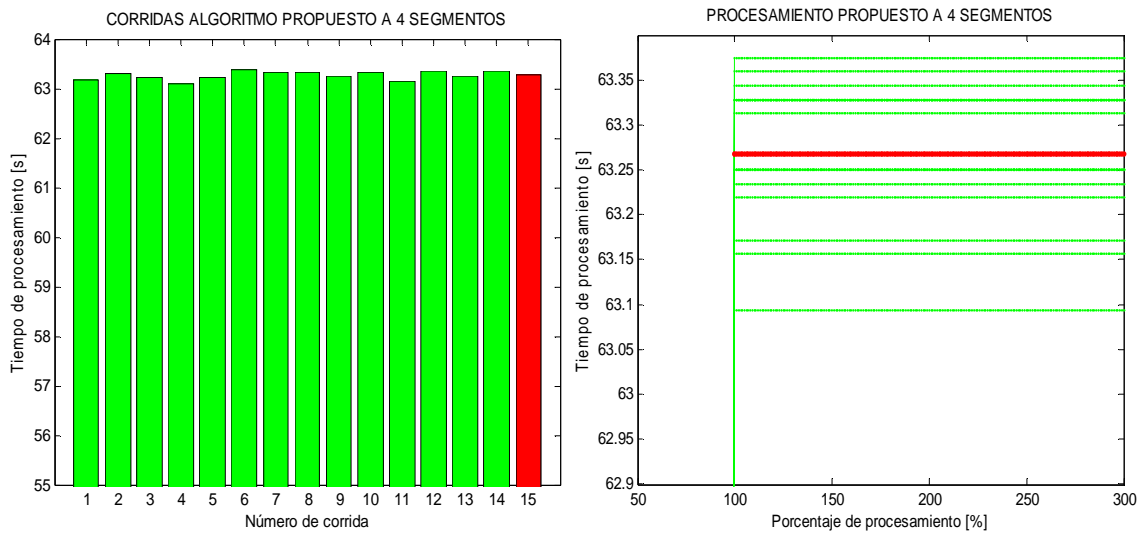
Para la simulación correspondiente a la parte no secuencial del algoritmo, se utilizó el código fuente del Apéndice IV, el cual hace la división del archivo original en 4, 8 ó 16 segmentos dependiendo del tamaño de éste. Lo cual significa que cada segmento será procesado al mismo tiempo pero por diferente procesador, implicando una reducción del tiempo total de procesamiento debido a la significativa reducción del contenido a procesar.

Las corridas del código fuente fueron realizadas en varias ocasiones, registrando 15 valores, donde el último corresponde al valor más representativo de los 14 valores anteriores; esto con el fin de tener la certeza de que el algoritmo es estable.

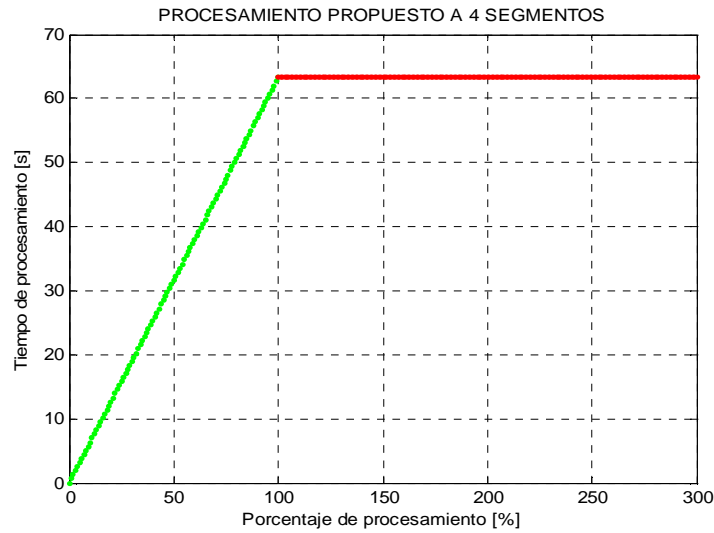
A continuación se presenta la Tabla 4.3 con los valores en tiempo correspondientes a cada una de las corridas así como también las gráficas arrojadas por esta simulación; de la cual el código fuente se encuentra en el Apéndice IV:

Tabla 4.3 Valores alcanzados en tiempo correspondientes a cada prueba; teniendo como último valor al más representativo de las 14 pruebas. Esto para una segmentación de 4.

No. de Corrida	Tiempo de Procesamiento [s]
1	63.1719
2	63.3125
3	63.2344
4	63.0938
5	63.2188
6	63.3750
7	63.3281
8	63.3281
9	63.2500
10	63.3281
11	63.1563
12	63.3438
13	63.2500
14	63.3594
Media	63.2679



Grafica 3. En estas gráficas se muestra el tiempo que se llevó el programa en procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 4. Cada una de las 14 pruebas es representada por una barra, teniendo como el valor más representativo, el de la barra 15 y/o línea roja.

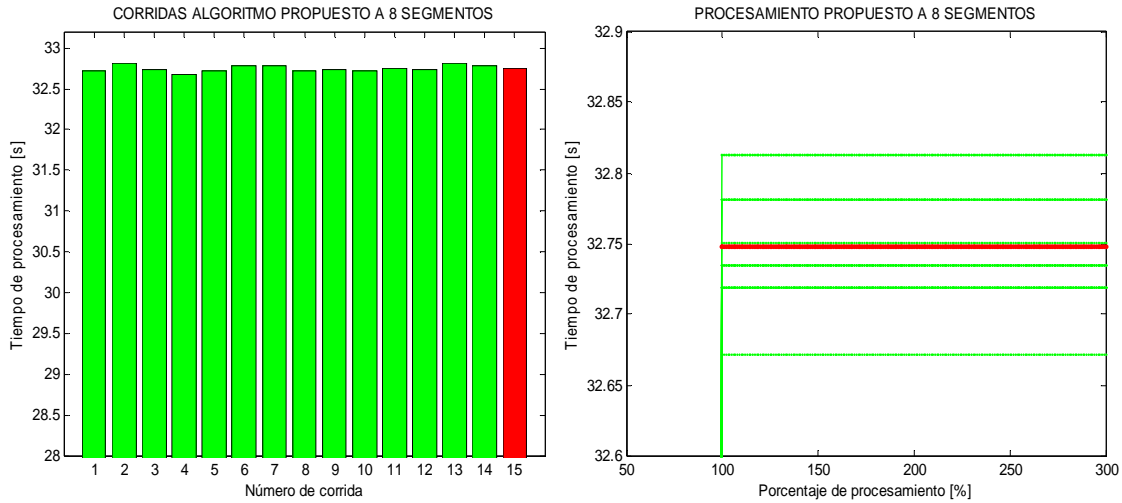


Grafica 4. En esta gráfica se muestra el tiempo alcanzado después de procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 4. Ejemplificando con color verde las secciones más complejas para procesar dentro del algoritmo. Y con color rojo el valor total alcanzado después de concluir con dicho procesamiento.

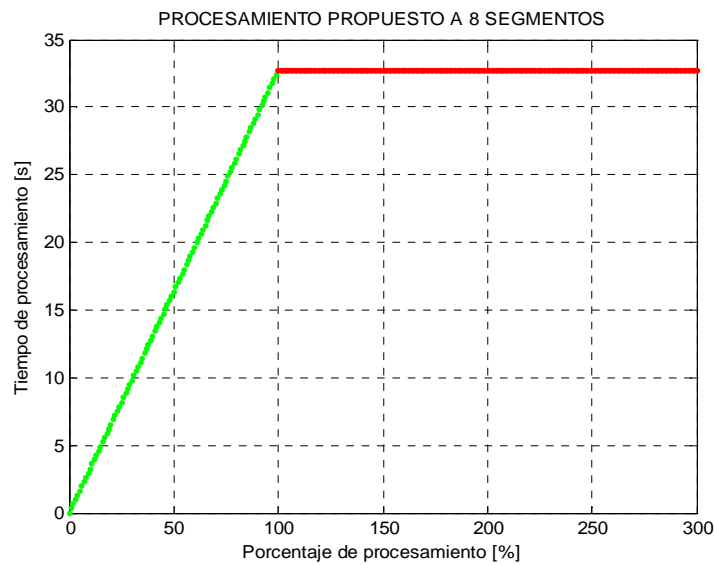
4.3.2 Simulación del algoritmo propuesto a 8 segmentos.

Tabla 4.4 Valores alcanzados en tiempo correspondientes a cada prueba; teniendo como último valor al más representativo de las 14 pruebas. Esto para una segmentación de 8.

No. de Corrida	Tiempo de Procesamiento [s]
1	32.7188
2	32.8125
3	32.7344
4	32.6719
5	32.7188
6	32.7813
7	32.7813
8	32.7188
9	32.7344
10	32.7188
11	32.7500
12	32.7344
13	32.8125
14	32.7813
Media	32.7478



Grafica 5. En estas gráficas se muestra el tiempo que se llevó el programa en procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 8. Cada una de las 14 pruebas es representada por una barra, teniendo como el valor más representativo, el de la barra 15 y/o línea roja.

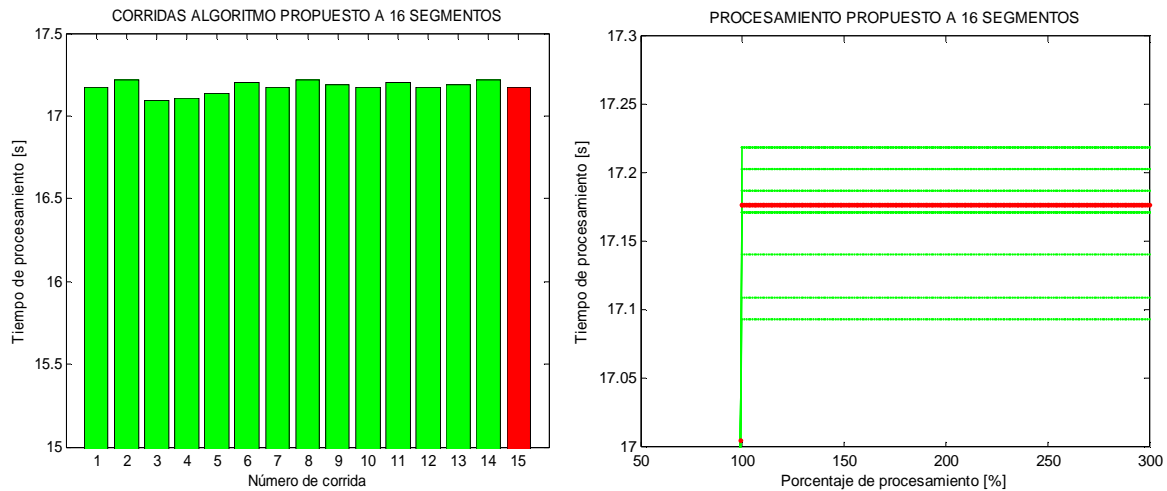


Grafica 6. En esta gráfica se muestra el tiempo alcanzado después de procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 8. Ejemplificando con color verde las secciones más complejas para procesar dentro del algoritmo. Y con color rojo el valor total alcanzado después de concluir con dicho procesamiento.

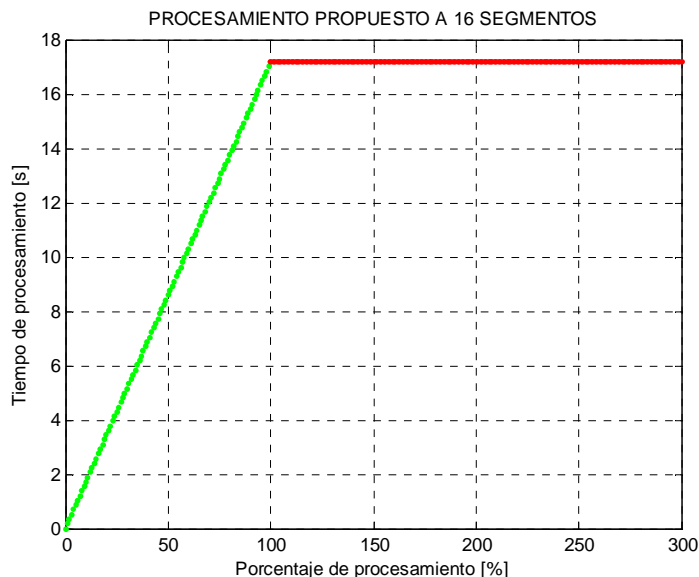
4.3.3 Simulación del algoritmo propuesto a 16 segmentos.

Tabla 4.5 Valores alcanzados en tiempo correspondientes a cada prueba; teniendo como último valor al más representativo de las 14 pruebas. Esto para una segmentación de 16.

No. de Corrida	Tiempo de Procesamiento [s]
1	17.1719
2	17.2188
3	17.0938
4	17.1094
5	17.1406
6	17.2031
7	17.1719
8	17.2188
9	17.1875
10	17.1719
11	17.2031
12	17.1719
13	17.1875
14	17.2188
Media	17.1764



Grafica 7. En estas gráficas se muestra el tiempo que se llevó el programa en procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 16. Cada una de las 14 pruebas es representada por una barra, teniendo como el valor más representativo, el de la barra 15 y/o línea roja.



Grafica 8. En esta gráfica se muestra el tiempo alcanzado después de procesar el archivo de video correspondiente a una segmentación de 16. Ejemplificando con color verde las secciones más complejas para procesar dentro del algoritmo. Y con color rojo el valor total alcanzado después de concluir con dicho procesamiento.

4.4 Comparación y análisis de los resultados obtenidos.

Después de tener los resultados correspondientes a las simulaciones del algoritmo secuencial (actual) y los del algoritmo propuesto, estamos en la posibilidad de comparar los resultados respectivos.

Observando los valores en tiempo arrojados por la simulación, es clara desde un principio la diferencia en el tiempo de procesamiento del algoritmo secuencial con cualquier otro del algoritmo propuesto; esto de cierta manera es un resultado esperado y lógico debido a la manera en como se planteó la propuesta desde un inicio; es decir la idea de tener que procesar menos información contribuye directamente al tiempo que se lleve un procesador en trabajar con ella. Sin embargo es importante analizar como se comporta esta reducción en el tiempo de procesamiento.

Revisando la tabla o la gráfica del procesamiento secuencial, se obtiene un registro promedio de 243.8650 [s] para un archivo de video en formato AVI de 1 minuto de duración. Al hacer la primera segmentación en 4 bloques del archivo del video original, se obtuvo un registro promedio de 63.2679 [s] lo cual corresponde a una 3.8544 parte del tiempo del algoritmo secuencial. Por otro lado al realizar la segunda segmentación en 8 bloques del archivo del video original, se obtuvo un registro promedio de 32.7478 [s] lo que corresponde a una 7.4467 parte del tiempo del algoritmo secuencial. Y por último al realizar la tercera segmentación en 16 bloques del archivo de video original, se obtuvo un registro promedio de 17.1764 [s], lo que corresponde a una 14.1976 parte del tiempo del algoritmo secuencial. Lo anterior se resume en la Tabla 4.6:

Tabla 4.6 Tabla comparativa de las diferentes corridas y sus registros de tiempo. Fracciones y porcentajes respecto a la corrida secuencial.

	Corrida			
	Secuencial	4 Segmentos	8 Segmentos	16 Segmentos
Tiempo [s]	243.8650	63.2679	32.7478	17.1764
Fracción	-	3.8544	7.4467	14.1976
Porcentaje [%]	-	25.9438	13.4286	7.0434

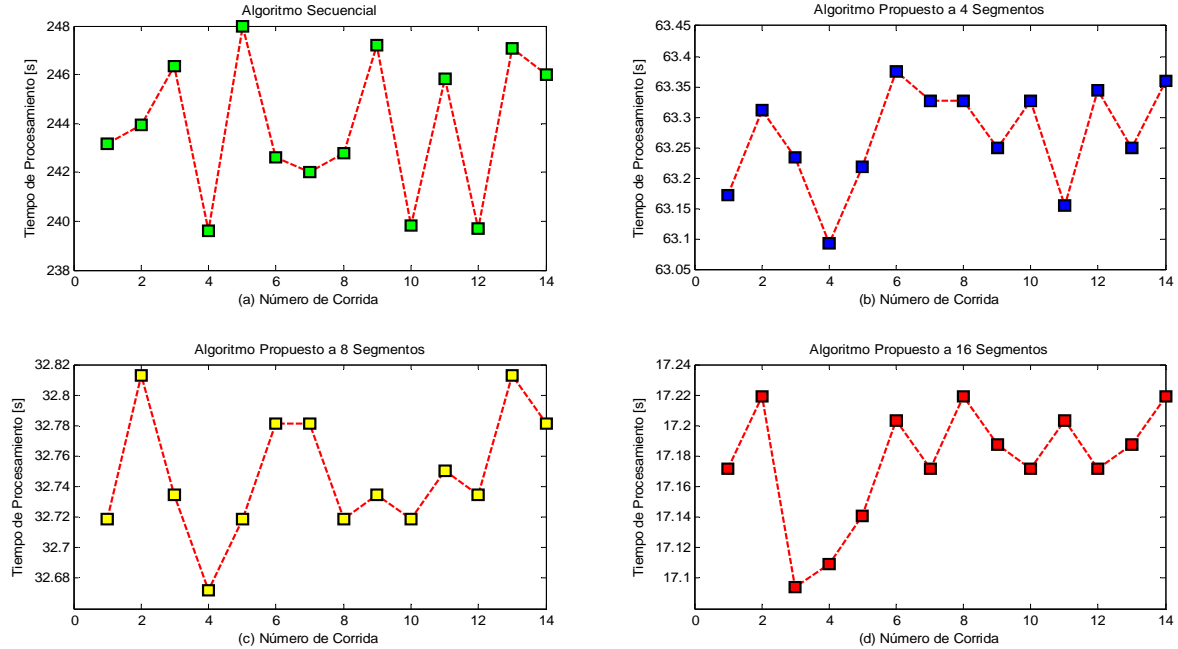
Es importante notar la relación que guardan las fracciones de cada corrida, la cual no es directamente proporcional al número de segmentos realizados, ya que se puede pensar en una división de n segmentos del archivo original de video con el mismo número n de procesadores para tener fracciones de tiempo mínimas. Sin embargo no es esta situación tan simple ya que existe un punto en el cual el tiempo se vuelve invariante para los fines del procesamiento de video, esto debido a que el tamaño de un segmento de un frame de video para un procesador estándar llega a ser tal que no puede variar mucho el tiempo de procesamiento; por lo que no es factible tener n procesadores cuando estos no van a desempeñarse adecuadamente.

Debe de hacerse un estudio para determinar un balance entre el número de procesadores/segmentos de video y el tiempo de procesamiento, ya que como se mencionó anteriormente, hay un punto donde no existe ventaja alguna en aumentar el numero de procesadores cuando el tamaño del segmento es tal que un solo procesador lo hace de manera rápida y efectiva.

En el diseño del algoritmo presentado en este trabajo, se procuró mantener un balance adecuado entre el número de procesadores y los tiempos de procesamiento. Definiéndose así que 16 procesadores son suficientes para llevar a cabo el procesamiento de un frame de video completo. Siempre quedando abierta la posibilidad de incrementar o incluso disminuir este número ya que pueden tomarse en cuenta algunos otros aspectos que simplifiquen o aumenten la complejidad del algoritmo propuesto, teniendo con esto que reducir o aumentar el poder computacional para llevar a cabo de manera eficiente el procesamiento de la información.

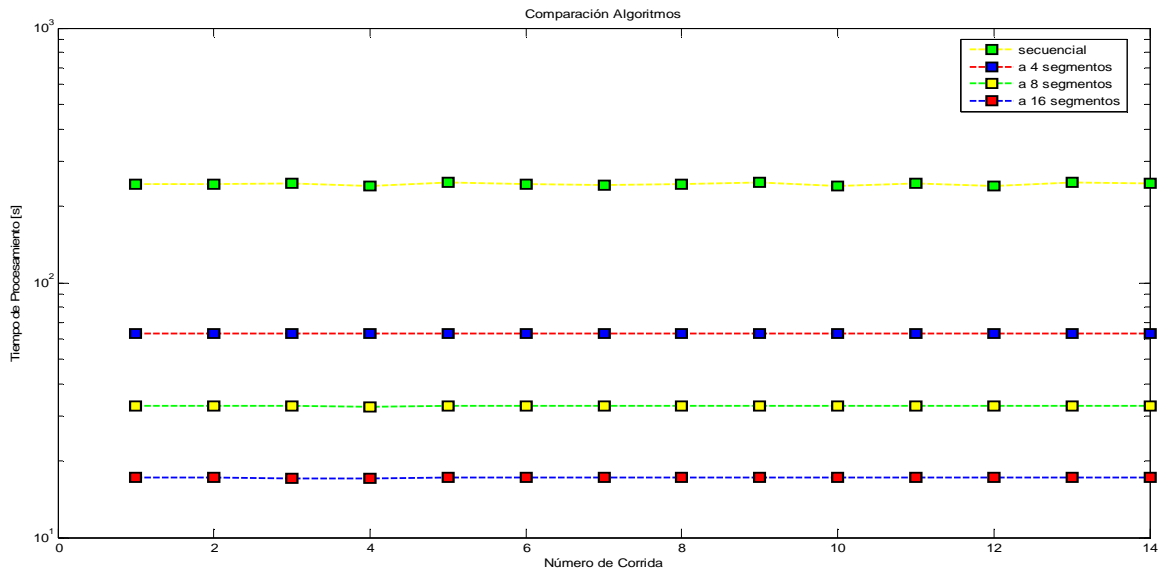
La arquitectura de programación distribuida será también la que juegue un papel importante en la implementación, ya que con la adecuada integración del algoritmo en dicha arquitectura, será como se puede alcanzar un correcto funcionamiento en conjunto. Sin embargo, la programación distribuida también puede influenciar en efectos negativos; tales como un retardo en el reensamblaje de información, retardo que sin embargo sigue siendo de dimensiones menores a las de un proceso de codificación de video, con lo que las pretensiones originales de este trabajo no se verán afectadas en gran medida. Por lo que se hace hincapié en los alcances en la elaboración de este trabajo, el cual se limita a la propuesta de una arquitectura alternativa para el proceso de codificación de video específicamente para un sistema de IPTV, lo cual se ha desarrollado a manera de programación dejando la implementación física para trabajos alternativos y consecuentes. Siendo la programación la que nos brinda la oportunidad de observar la respuesta al algoritmo presentado por medio del programa MATLAB. En otras palabras, es el algoritmo que se ha desarrollado el que toma el papel de la arquitectura y proceso de codificación. Proceso que se simula tomando aspectos relevantes que logran la compresión; más no abarca toda la robustez del estándar MPEG4, ya que como tal es complejo y bien podría ser tomado como un desarrollo completo para trabajos complementarios.

Es así como finalmente los resultados arrojados por la simulación, son de gran utilidad porque considerando lo anterior nos permiten pretender que mediante el uso de software también se pueden alcanzar resultados satisfactorios con el uso del hardware que convencionalmente se utiliza. Finalmente se hace la comparación del la simulación del algoritmo actual con la propuesta aquí presentada, obteniendo la Grafica 9:



Grafica 9. En esta grafica se muestran los tiempos correspondientes al algoritmo secuencial (a), y el algoritmo propuesto tanto a 4 segmentos (b), 8 segmentos (c), como a 16 segmentos (d).

Observándolas en la misma grafica y de manera logarítmica para una mejor percepción de los valores, se muestra la Gráfica 10.



Grafica 10. En esta grafica se muestran los tiempos correspondientes al algoritmo secuencial, y el algoritmo propuesto tanto a 4 segmentos, 8 segmentos, como a 16 segmentos sobre la misma figura.

Con los resultados obtenidos y anteriormente presentados en las gráficas, podemos visualizar los resultados esperados y que se pudieron satisfactoriamente comprobar por medio de la simulación del algoritmo propuesto; es decir, la reducción en tiempo de un procesamiento completo de un frame de video. Son los resultados arrojados por la simulación los lógicos, debido al diseño que desde un inicio se planteó, ya que a menos contenido a procesar, menos tiempo de procesamiento, lo cual se ha planteado, diseñado y corroborado.

Analizando el comportamiento del algoritmo, existe un punto del mismo en el cual se consume más tiempo que en el resto de los pasos, éste se da al momento de realizar la Transformada Coseno Discreta (DCT) dentro del proceso de codificación, esto debido al número de operaciones (multiplicaciones) que se llevan a cabo para realizar la transformada de cada matriz de 4×4 después de la segmentación del archivo de video y la división de los bloques en matrices; mismo punto que en los sistemas actuales es punto de estudio ya que sigue siendo el principal aspecto a mejorar.

Por otro lado, es importante notar la relación que guardan los tiempos de procesamiento de cada simulación con respecto a cada segmentación del frame original de video (Tabla 4.6); ya que nos permiten visualizar, si se optara por implementar la arquitectura propuesta con la adecuada integración del algoritmo, que se puede alcanzar una considerable reducción en la cantidad de información después de la segmentación, misma que debe en el proceso contrario, de realizar el reensamble de manera adecuada en el buffer del procesador maestro para evitar problemas en la percepción del video al momento de la reproducción. Este punto será de importancia al momento de una implementación como tal, ya que en la elaboración de este trabajo no presenta mayor complicación debido a que la simulación lleva a cabo la segmentación más el procesamiento de cada uno se lleva a cabo dentro del mismo procesador.

A manera de visualizar como es que se realiza la compresión de información, a continuación se presenta la Tabla 4.7 con los niveles de compresión alcanzados por el algoritmo por cada segmentación; mismos niveles de compresión que en el algoritmo tienen variación de acuerdo a los valores que se elijan de la tabla de cuantización para el redondeo de los valores de cada matriz. De la misma manera se muestra la Figura 4.4 donde se ve claramente la pérdida de información que se traduce en un nivel de compresión.

Tomando en cuenta que el archivo correspondiente al frame completo de video en un archivo en formato .AVI de 60 segundos de duración.

Tabla 4.7 Valores en porcentaje de los niveles de compresión por cada prueba y cuantizador utilizado

Frame Completo	Datos procesados	Datos comprimidos	% de compresión
Cuantizador Q1	15587356	14184494	91
Cuantizador Q2	15587356	13872747	89
Cuantizador Q3	15587356	13405126	86
Cuantizador Q4	15587356	13249252	85
Cuantizador Q5	15587356	12469884	80

Segmentación a 16	Datos procesados	Datos comprimidos	% de compresión
Cuantizador Q1	1135892	1045021	92
Cuantizador Q2	1135892	999585	88
Cuantizador Q3	1135892	976867	86
Cuantizador Q4	1135892	965508	85
Cuantizador Q5	1135892	897355	79

Segmentación a 8	Datos procesados	Datos comprimidos	% de compresión
Cuantizador Q1	2162154	1945939	90
Cuantizador Q2	2162154	1902696	88
Cuantizador Q3	2162154	1837831	85
Cuantizador Q4	2162154	1772966	82
Cuantizador Q5	2162154	1729723	80

Segmentación a 4	Datos procesados	Datos comprimidos	% de compresión
Cuantizador Q1	4146440	3773260	91
Cuantizador Q2	4146440	3690332	89
Cuantizador Q3	4146440	3607403	87
Cuantizador Q4	4146440	3483010	84
Cuantizador Q5	4146440	3317152	80

Es necesario tomar en cuenta que el valor de las columnas correspondientes a los datos comprimidos, corresponden a los valores que después del procesamiento tienen un valor igual a cero; ya que después de las multiplicaciones debidas a la transformada coseno discreta existen muchos cambios en los valores originales de cada matriz; siendo considerados solamente como datos comprimidos los resultantes igual a cero.

A manera de ejemplo del nivel de compresión que se ejemplifica en la Tabla 4.7, a continuación se muestran 4 imágenes correspondientes a 3 diferentes valores para la cuantización con respecto a los valores originales; es decir, sin comprimir. Se muestran imágenes debido a la dificultad de presentar el resultado completo en forma de video; sin embargo, son muy útiles estas imágenes ya que el estudio y procesamiento del video se hace a partir de considerarlo como una secuencia de imágenes.

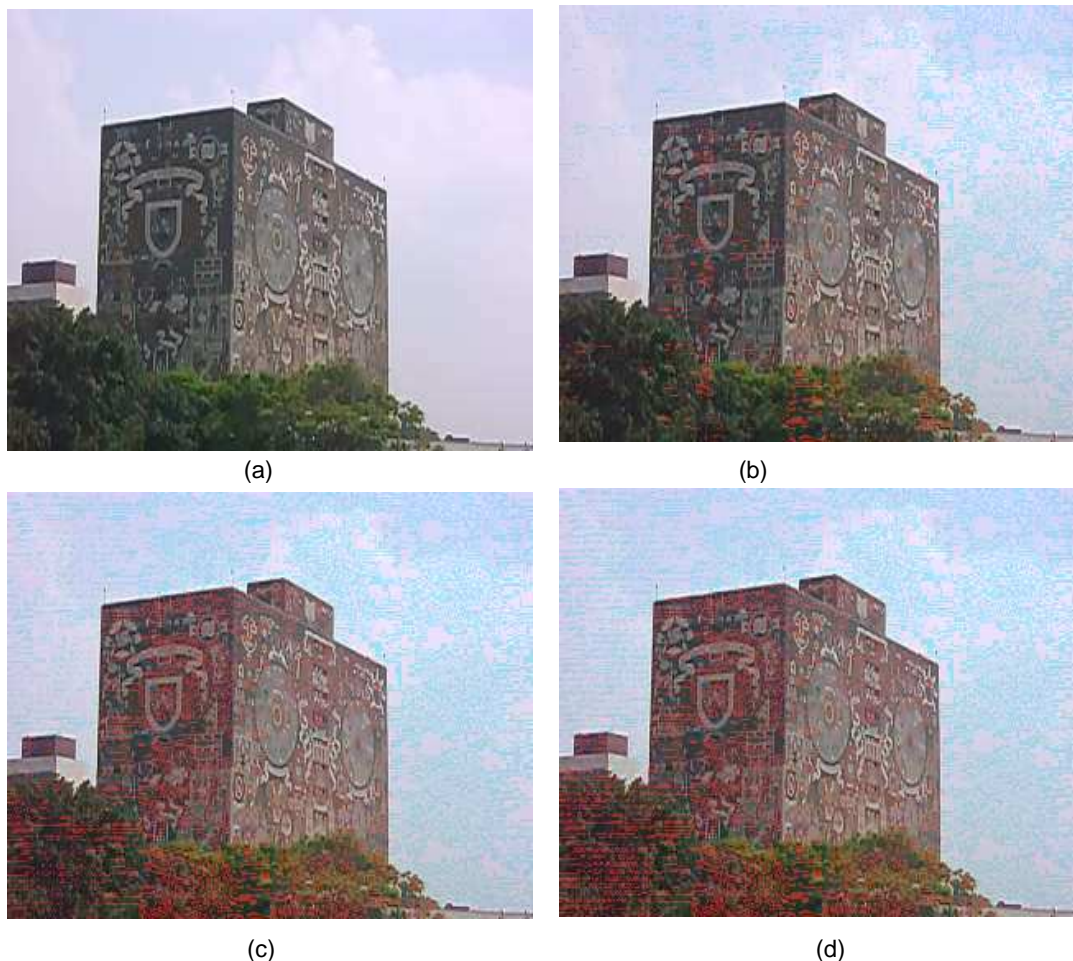


Fig 4.4 Aquí se muestran los diferentes niveles de compresión en una misma imagen fija perteneciente al frame de video. Niveles que se deben a los distintos valores de los vectores de cuantización. Imagen original sin compresión (a). Imagen con un 79% de compresión (b). Imagen con un 86% de compresión (c). Imagen con un 90% de compresión (d).

Teniendo en cuenta que al momento de una implementación real tienen que considerarse aspectos relacionados con lo que respecta a la programación distribuida, ya que estos también van a influir en el desempeño global en el HeadEnd del sistema IPTV, tales como la correcta sincronización del procesador maestro con los esclavos y del procesador maestro con la red de acceso para su transporte a la red de distribución. Deben de considerarse no solo puntos centrados en el algoritmo en sí el cual solo influye directamente en el HeadEnd del sistema completo, sino también todos los relacionados con la comunicación de la cabecera del sistema IPTV con la red de acceso principalmente y las deficiencias que se tienen en las redes IP, tales como ancho de banda y alcances del hardware utilizado, ya que siendo este el principal punto en el cual se están buscando las mejoras para el proceso de codificación, es por lo que se busca en este trabajo una alternativa en software basada en una arquitectura diferente a la utilizada actualmente. Así, considerando lo anterior podemos corroborar con este trabajo que la propuesta presenta resultados viables a ser considerados para sus correspondientes estudios y ser tomada en cuenta para la utilización en un sistema real y comprobar así que la propuesta resultará rentable en un sistema real y completo.

Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones acerca de los resultados obtenidos en este trabajo de acuerdo a los objetivos planteados:

- Actualmente existe una cerrada competencia por parte de los proveedores de telecomunicaciones por conservar a sus clientes con una mayor y diversificada oferta de contenido. Con lo que han optado por ampliar sus propuestas teniendo que ofrecer no sólo el servicio que originalmente otorgaban; la exigencia del cliente es la que ha llevado a estos proveedores de telecomunicaciones a innovar y hacer frente a los retos tecnológicos y de negocios teniendo así que incursionar en otros mercados para poder ofrecer al cliente no sólo telefonía, televisión o Internet, sino los tres servicios en conjunto sobre la misma infraestructura; lo cual le ha dado forma al concepto novedoso llamado Triple Play.
- El sistema Triple Play es un concepto que engloba aspectos tanto tecnológicos como comerciales, siendo estos últimos los más importantes y que han dado en realidad el impulso para la creación y desarrollo del mismo. Por una parte, será necesario hacer crecer la infraestructura de la red existente en cuestión de hardware, mayor alcance en distancias, y nuevas implementaciones de este sistema con las redes IP actuales, lo cual siempre será un reto en lo que a tecnología se refiere ya que al decir hardware se engloban una serie de equipos que deben de cumplir con exigencias específicas. Y por otro lado, las ventajas que en cuestiones comerciales también traerán ventajas para el cliente; quienes se verán beneficiados principalmente en la relación con un solo proveedor de telecomunicaciones tanto en contratos como en facturación, lo cual aumentará la oferta en el mercado y los precios se reducirán.
- Dentro del sistema Triple Play, es la televisión sobre redes IP la que tiene varias funcionalidades, lo que conlleva a la posibilidad de encontrar varios aspectos a mejorar, por lo que este trabajo se ha enfocado al sistema IPTV y en particular al retardo en el cambio de canal por efecto del proceso de codificación bajo el estándar MPEG-4. Ya que la codificación de grandes cantidades de información por parte de supercomputadoras escalares es uno de los puntos medulares a tomar en cuenta actualmente, es que se tomó como base para la elaboración de este trabajo. Los intentos y mejoras que se han hecho hasta ahora son en la mayoría de ellas, soluciones de hardware, por lo que esta propuesta se enfocó en un planteamiento enfocándose no sólo en una alternativa en la arquitectura, sino complementando ésta con la integración de un programa en software que simula la segmentación de un frame completo de video y la codificación de cada uno de estos bajo el estándar MPEG-4; con lo que se pueden obtener algunas conclusiones particulares en base a esto:

- Como primer aspecto relevante a notar es el correcto funcionamiento del algoritmo aquí propuesto, ya que al ser éste probado con un archivo de video, se pudieron visualizar los resultados que desde un inicio se buscaban alcanzar; es decir, la eficiente segmentación del frame de video y su correspondiente codificación. Codificación que puede notarse tanto en los resultados del algoritmo, así como en la visualización de una imagen de prueba o incluso del video completo después de haber sido reensamblado.
- La codificación de la información no es tan rígida en la forma en la que se lleva a cabo en el sentido de un nivel alto o muy alto de compresión para la percepción del ojo humano. Con lo anterior, se intenta decir, que al momento de realizar la cuantización de los coeficientes después de haber sido transformados, las tablas utilizadas para tal efecto están basadas solamente en pruebas empíricas tomando en cuenta hasta que punto la pérdida de información no se refleja directamente en la percepción del ojo. En este sentido, el algoritmo resulta abierto a libres modificaciones.
- De acuerdo a los resultados arrojados por la tabla 4.6, se pueden notar las relaciones en tiempos de procesamiento que existen al momento de llevar a cabo la codificación de cada segmento. En este sentido, el número de procesadores involucrados no debe de crecer indiscriminadamente tratando de buscar una proporción directa entre el número de procesadores y el tiempo de codificación, ya que esto no se da de esta manera debido a que el algoritmo puede ser optimizado sin contar que las condiciones de la Red de Área Local (LAN) también presentan aspectos a mejorar, tales como un fuerte acoplamiento en los procesadores así como un poderoso Middleware que administre al sistema. En la Tabla C1 se muestran los resultados generales obtenidos durante la elaboración de este trabajo.

Tabla C1.- Comparativa de los resultados obtenidos por el algoritmo actual y el propuesto en este trabajo:

Algoritmo	Segmentación a	Datos a comprimir [No. elementos]	Nivel de compresión [%]	Tiempo de procesamiento [s]	Reducción en tiempo [%]
Actual	-	15587356	80 – 91	243.8650	-
Propuesto	4	4146440	79 – 92	63.2679	25.9438
Propuesto	8	2162154	80 – 90	32.7478	13.4286
Propuesto	16	1135892	80 – 91	17.1764	7.0434

Pruebas realizadas con un archivo de video en formato .AVI con duración de 60 segundos sobre un procesador Pentium @ 1.6 GHz y 2 Gb de memoria RAM.

- En este trabajo de acuerdo a las pruebas realizadas, se propone el uso de hasta 16 procesadores trabajando en paralelo ya que el aumento de los mismos no contribuirá de manera significativa en mejorar el tiempo e involucrará un mayor gasto en la infraestructura y acoplamiento de los mismos.
- Adicionalmente, es necesario considerar no sólo al algoritmo como tal para una implementación en su momento, debido a que será necesario entonces revisar aspectos tales como el ágil funcionamiento del Middleware en la administración del sistema; así como también la velocidad de transporte de la red de acceso y la red de distribución. Esto debido a que la propuesta considerada por este trabajo influye directamente en la cabecera del sistema y no se buscan hacer mejoras fuera de ella pero que sin embargo también repercute en un funcionamiento eficiente.
- Finalmente será importante resaltar que los resultados presentados en la elaboración de este trabajo no intentan reemplazar al sistema actual ya que se ha realizado a manera de prueba como una alternativa que aun puede ser complementada. De la misma manera este trabajo no puede compararse con trabajos semejantes ya que tendrían que replicarse las condiciones en la que cada uno de los trabajos se ha realizado originalmente.

ACRÓNIMOS**A**

ATSC.- Advanced Television Systems Committee
 ADSL.- Asymmetric Digital Subscriber Line
 AVC.- Advanced Video Coding
 ATM.- Asynchronous Transfer Mode
 AM.- Amplitud Modulada
 ACF.- Activity Controlled Framerate
 AAC.- Audio Advanced Coding
 ASP.- Advanced Simple Profile

B

BIFS.- Binary Format Scene

C

COFDM.- Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 CATV.- Communal Antenna Television
 CRC.- Control Reception Center
 CPE.- Customer Premises Equipment
 Codec.- Codificador Decodificador
 CD.- Compact Disc
 CIF.- Common Intermediate Format.
 CBR.- Capped Bit Rate
 CDROM.- Compact Disc Read Only Memory
 CBR*.- Constant Bit Rate
 CAVLC.- Context-based Adaptive Variable Length Coding
 CABAC.- Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding

D

DTV.- Digital Television
 DVD.- Digital Versatile Disc
 DVB-T.- Digital Video Broadcasting Terrestrial
 DTH.- Direct To Home TV
 DSL.- Digital Subscriber Line
 DRM.- Digital Rights Management
 DSLAM.- Digital Subscriber Line Access Multiplexer
 DMT.- Discrete Multi Tone
 DSP.- Digital Signal Processor
 DCT.- Discrete Cosine Transform
 DMIF.- Delivery Multimedia Integration Framework

E

EBU.- European Broadcasting Union
 ETSI.- European Telecommunications Standard Institute
 EDTV.- Extended Definition Television
 EPG.- Electronic Program Guide

F

FHR.- First Hop Router
 FTTH.- Fiber To The Home
 FM.- Frecuencia Modulada
 FTP.- File Transfer Protocol
 FDDI.- Fiber Distributed Data Interface
 FRE.- Fidelity Range Extensions
 FEC.- Forward Error Correction

G

-
- H**
- GOP.- Group of Pictures
 - HD.- High Definition
 - HDTV.- High Definition Television
 - HFC.- Hybrid Fiber Coaxial
 - HSM.- Hierarchical Storage Management
- I**
- ISDB.- Integrated Services Digital Broadcasting
 - IP.- Internet Protocol
 - IPTV.- Internet Protocol Television
 - ITU.- International Telecommunications Union
 - ISP.- Internet Service Provider
 - ISO.- International Organization for Standardization
 - IEC.- International Electrotechnical Commission
- J**
- JPEG.- Joint Photographic Experts Group
- L**
- LHR.- Last Hop Router
 - LCD.- Liquid Crystal Display
 - LAN.- Local Area Network
 - LED.- Light Emitting Diode
- M**
- MB.- Macrobloque
 - MPEG.- Moving Picture Experts Group
 - MHP.- Multi Home Platform
 - MMDS.- Multichannel Multipoint Distribution System
 - MODEM.- Modulate Demodulate
 - MIB.- Management Information Base
 - MPE.- Multi-Protocol Encapsulation
- N**
- NCTA.- Nacional Cable Television Association
 - NVR.- Network Video Recorder
 - NTSC.- Nacional Television System Committee
 - NTP.- Network Time Protocol
 - NSS.- Network Storage System
 - NAT.- Network Address Translation
 - NAL.- Network Abstraction Layer
- O**
- OS.- Operative System
 - OFDM.- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 - OD.- Object Descriptor
- P**
- PAL.- Phase Alternating Line
 - PCTV.- Productora y Comercializadora de Televisión
 - PSI.- Program Specific Information
 - PVR.- Personnel Video Recorder
 - POTS.- Plain Old Telephone System
 - PLC.- Power Line Communication
 - PCMM.- Packet Cable MultiMedia
 - PIRE.- Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
 - PS.- Program String
 - PSNR.- Peak Signal to Noise Ratio

Q

QAM.- Quadrature Amplitude Modulation
QP.- Quantization Pase
QPSK.- Quadrature Phase Shift Keying
QoS.- Quality of Service
QoE.- Quality of Experience

R

ROI.- Region of Interest
RTC.- Real Time Clock
RFC.- Request for Comments
RDSI.- Red Digital de Servicios Integrados
RTP.- Real Time Protocol
RGB.- Red Green Blue

S

SDTV.- Standard Definition Television
SFN.- Single Frecuency Network
SMATV.- Satellite Master Antenna Television
STB.- Set Top Box
SVIP.- Sistema de Video sobre Internet Protocol
SNMP.- Simple Network Management Protocol
SVCD.- Super Video Compact Disc

T

TDT.- Terrestrial Digital Television
TCP.- Transmission Control Protocol
Telnet.- Teletype Network
TV.- Televisión
TS.- Transport String

U

UHF.- Ultra High Frecuency
USB.- Universal Serial Bus
UDP.- User Datagram Protocol
URL.- Uniform Resource Locator

V

VHF.- Very High Frecuency
VoD.- Video on Demand
VoIP.- Voice on Internet Protocol
VDSL.- Very high bit-rate Digital Suscriber Line
VHS.- Vertical Helical Scan (Video Home System)
VoDSL.- Video on Digital Suscriber Line
VMD.- Video Moving Detection
VPN.- Virtual Private Network
VBR.- Variable Bit Rate
VCEG.- Video Coding Experts Group
VCL.- Video Coding Layer
VLC.- Variable Length Code

W

WiFi.- Wireless Fidelity
WiMax.- Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMV.- Windows Media Video
WAN.- Wide Area Network

Código Fuente correspondiente al Algoritmo Secuencial (Actual)

```
%SE INICIA EL REGISTRO PAR EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO
t = cputime;

%ABRE Y OBTIENE EL ARCHIVO DE VIDEO EN FORMA DE UNA MATRIZ
Video = fopen('Seg15.avi','r');
[C, countc] = fread(Video,inf,'100*uchar=>double',20);
countc;
C';
Videoff = fclose(Video);

DIV = countc / 256;
DIVIS = floor(DIV); %%%% acondicionando al paquete divisible entre 256
COUNTC = (countc * DIVIS) / DIV;
DIFE = countc - COUNTC;

SIZE = countc;
stop = SIZE/16;
STOP = floor(stop);
STOPER = STOP(1);
i = 1;

%DEFINIENDO EL CUANTIZADOR "Q" ==> "sample quantization table"
q1 = [16 11 10 16 24 40 51 61];
q2 = [12 12 14 19 26 58 60 55];
q3 = [14 13 16 24 40 57 69 56];
q4 = [14 17 22 29 51 87 80 62];
q5 = [18 22 37 56 68 109 103 77];
q6 = [24 35 55 64 81 104 113 92];
q7 = [49 64 78 87 103 121 120 101];
q8 = [72 92 95 98 112 100 103 99];
Q = [q1; q2; q3; q4; q5; q6; q7; q8];
Q1 = [16 11 10 16;12 12 14 19;14 13 16 24;14 17 22 29];
Q2 = [24 40 51 61;26 58 60 55;40 57 69 56;51 87 80 62];
Q3 = [18 22 37 56;24 35 55 64;49 64 78 87;72 92 95 98];
Q4 = [68 109 103 77;81 104 113 92;103 121 120 101;112 100 103 99];
Q5 = [15 126 214 109; 25 215 112 100; 15 210 101 139; 16 145 156 254];

MATmat = C;
k = 0;
alter = 1;
%A PARTIR DE LA MATRIZ ORIGINAL, FORMA LAS MATRICES DE 4X4 CORRESPONDIENTES
while i <= STOP
    Di = [MATmat(1+k) MATmat(5+k) MATmat(9+k) MATmat(13+k);MATmat(2+k) MATmat(6+k)
MATmat(10+k) MATmat(14+k);MATmat(3+k) MATmat(7+k) MATmat(11+k) MATmat(15+k);MATmat(4+k)
MATmat(8+k) MATmat(12+k) MATmat(16+k)];

    %APLICANDO A CADA MATRIZ DE 4X4 LA DCT (Discrete Cosine Transform)
    DiT = dct2(Di);

    %CALCULANDO ETIQUETAS DE LOS COEFICIENTES DE CADA MATRIZ DE 4X4
```

```

for et = 1:1:16,
    Etiq(et) = ((DiT(et)/Q4(et))+0.5);
end%for
ETIQ = [Etiq(1) Etiq(5) Etiq(9) Etiq(13);Etiq(2) Etiq(6) Etiq(10) Etiq(14);Etiq(3) Etiq(7) Etiq(11)
Etiq(15);Etiq(4) Etiq(8) Etiq(12) Etiq(16)];
ETIQred = round(ETIQ);
medetiq = size(ETIQred);
MEDetiq = medetiq(1) * medetiq(2);

%alternativa para almacenar
Paquete = [];
PAQUETE = cat(1,Paquete,ETIQred);
Paquete = PAQUETE;
medpaq = size(Paquete);
MEDpaq = medpaq(1) * medpaq(2);
%fin alternativa para almacenar

%adecuando tamaños de paquetes original y procesado
if MEDpaq == COUNTC
    Paquete = PAQUETE;
elseif MEDpaq > COUNTC;
    DIF = MEDpaq - COUNTC;
    Paquete = Paquete(1:1:COUNTC);
    mp = size(Paquete);
    MP = mp(1) * mp(2);
%else MEDpaq < COUNTC;
%DIF = COUNTC - MEDpaq;
%MATdif = zeros(1,DIF);
end
%fin de adecuacion de tamaños

k = k + 16;
i = i + 1;
end%while

TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = cputime-t

```

Código Fuente correspondiente al Algoritmo Propuesto

```

%SE INICIA EL REGISTRO PAR EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO
t = cputime;
%SE OBTIENE EL ARCHIVO EN UNA MATRIZ
C = imread('CUimago110.jpeg');
med = size(C);
countc = med(1) * med(2);
figure;
imshow(uint8(C)) %se muestra la imagen original
% MODULO
DIV = countc / 256;
DIVIS = floor(DIV); %%%% acondicionando al paquete divisible entre 256
COUNTC = (countc * DIVIS) / DIV;
DIFE = countc - COUNTC;
%DIVIDE EL VIDEO EN 16 FRAGMENTOS A PROCESAR POR SEPARADO
Data = COUNTC/16; %No de datos por cada proceso
DataRound = floor(Data);
%ABRIENDO LA MATRIZ CORRESPONDIENTE PARA CADA PROCESO
time = 1;
m = 1;
n = DataRound;
while time <= 16
    A = [C(m:1:n)]';
    m = m + DataRound;
    n = n + DataRound;
    time = time + 1;

%ASIGNANDO NOMBRES A LAS MATRICES
if time == 2
    A1 = A;
    ELE = size(A1);
    SIZE_A1 = ELE(1)*ELE(2);
    A1(DataRound) = 1111;
elseif time == 3
    A2 = A;
    ELE = size(A2);
    SIZE_A2 = ELE(1)*ELE(2);
    A2(DataRound) = 2222;
elseif time == 4
    A3 = A;
    ELE = size(A3);
    SIZE_A3 = ELE(1)*ELE(2);
    A3(DataRound) = 3333;
elseif time == 5
    A4 = A;
    ELE = size(A4);
    SIZE_A4 = ELE(1)*ELE(2);
    A4(DataRound) = 4444;
elseif time == 6
    A5 = A;
    ELE = size(A5);

```

```
    SIZE_A5 = ELE(1)*ELE(2);
    A5(DataRound) = 5555;
elseif time == 7
    A6 = A;
    ELE = size(A6);
    SIZE_A6 = ELE(1)*ELE(2);
    A6(DataRound) = 6666;
elseif time == 8
    A7 = A;
    ELE = size(A7);
    SIZE_A7 = ELE(1)*ELE(2);
    A7(DataRound) = 7777;
elseif time == 9
    A8 = A;%129037
    ELE = size(A8);
    SIZE_A8 = ELE(1)*ELE(2);
    A8(DataRound) = 8888;
elseif time == 10
    A9 = A;
    ELE = size(A9);
    SIZE_A9 = ELE(1)*ELE(2);
    A9(DataRound) = 9999;
elseif time == 11
    A10 = A;
    ELE = size(A10);
    SIZE_A10 = ELE(1)*ELE(2);
    A10(DataRound) = 0010;
elseif time == 12
    A11 = A;
    ELE = size(A11);
    SIZE_A11 = ELE(1)*ELE(2);
    A11(DataRound) = 0011;
elseif time == 13
    A12 = A;
    ELE = size(A12);
    SIZE_A12 = ELE(1)*ELE(2);
    A12(DataRound) = 0012;
elseif time == 14
    A13 = A;
    ELE = size(A13);
    SIZE_A13 = ELE(1)*ELE(2);
    A13(DataRound) = 0013;
elseif time == 15
    A14 = A;
    ELE = size(A14);
    SIZE_A14 = ELE(1)*ELE(2);
    A14(DataRound) = 0014;
elseif time == 16
    A15 = A;
    ELE = size(A15);
    SIZE_A15 = ELE(1)*ELE(2);
    A15(DataRound) = 0015;
```

```

else
A16 = A;%129037
ELE = size(A16);
SIZE_A16 = ELE(1)*ELE(2);
A16(DataRound) = 0016;
end %if
end %while

%OBTENIENDO LAS ETIQUETAS DE CADA DIVISION
LABEL = [A1(DataRound) A2(DataRound) A3(DataRound) A4(DataRound) A5(DataRound)
A6(DataRound) A7(DataRound) A8(DataRound) A9(DataRound) A10(DataRound) A11(DataRound)
A12(DataRound) A13(DataRound) A14(DataRound) A15(DataRound) A16(DataRound)]';
%RECUPERANDO EL PAQUETE
MATmat = [A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14 A15 A16];
%OBTENIENDO EL NUMERO DE DATOS DE CADA DIVISION
SIZE = [SIZE_A1 SIZE_A2 SIZE_A3 SIZE_A4 SIZE_A5 SIZE_A6 SIZE_A7 SIZE_A8 SIZE_A9 SIZE_A10 SIZE_A11
SIZE_A12 SIZE_A13 SIZE_A14 SIZE_A15 SIZE_A16];
%INICIANDO EL PROCESO DE CODIFICACION PARA CADA DIVISION CORRESPONDIENTE A CADA HOST
k = 0;
for index = 1:16,
SIZE(index);
%DEFINIENDO EL CUANTIZADOR "Q" ==> "sample quantization table"
q1 = [16 11 10 16 24 40 51 61];
q2 = [12 12 14 19 26 58 60 55];
q3 = [14 13 16 24 40 57 69 56];
q4 = [14 17 22 29 51 87 80 62];
q5 = [18 22 37 56 68 109 103 77];
q6 = [24 35 55 64 81 104 113 92];
q7 = [49 64 78 87 103 121 120 101];
q8 = [72 92 95 98 112 100 103 99];
Q = [q1; q2; q3; q4; q5; q6; q7; q8];
Q1 = [16 11 10 16;12 12 14 19;14 13 16 24;14 17 22 29];
Q2 = [24 40 51 61;26 58 60 55;40 57 69 56;51 87 80 62];
Q3 = [18 22 37 56;24 35 55 64;49 64 78 87;72 92 95 98];
Q4 = [68 109 103 77;81 104 113 92;103 121 120 101;112 100 103 99];
Q5 = [15 126 214 109; 25 215 112 100; 15 210 101 139; 16 145 156 254];
%CALCULA EL NUMERO DE MATRICES DE 4X4 EN LAS QUE SE DIVIDE LA MATRIZ ORIGINAL
stop = SIZE/16;
STOP = floor(stop);
STOPER = STOP(1);
i = 1;
%PAQUETE = [1,STOP];
alter = 1;
%A PARTIR DE LA MATRIZ ORIGINAL, FORMA LAS MATRICES DE 4X4 CORRESPONDIENTES
while i <= STOP
Di = [MATmat(1+k) MATmat(5+k) MATmat(9+k) MATmat(13+k);MATmat(2+k) MATmat(6+k)
MATmat(10+k) MATmat(14+k);MATmat(3+k) MATmat(7+k) MATmat(11+k) MATmat(15+k);MATmat(4+k)
MATmat(8+k) MATmat(12+k) MATmat(16+k)]';

%APLICANDO A CADA MATRIZ DE 4X4 LA DCT (Discrete Cosine Transform)
DiT = dct2(Di);

```

```

%CALCULANDO ETIQUETAS DE LOS COEFICIENTES DE CADA MATRIZ DE 4X4
for et = 1:1:16,
    Etiq(et) = ((DiT(et)/Q4(et))+0.5);
end%for
ETIQ = [Etiq(1) Etiq(5) Etiq(9) Etiq(13);Etiq(2) Etiq(6) Etiq(10) Etiq(14);Etiq(3) Etiq(7) Etiq(11)
Etiq(15);Etiq(4) Etiq(8) Etiq(12) Etiq(16)];
ETIQred = round(ETIQ);
medetiq = size(ETIQred);
MEDetiq = medetiq(1) * medetiq(2);
%alternativa
eval(['M' num2str(alter) ' = ETIQred;'])
alter = alter + 1;
%fin alternativa
%alternativa para almacenar
Paquete = [];
PAQUETE = cat(1,Paquete,ETIQred);
Paquete = PAQUETE;
medpaq = size(Paquete);
MEDpaq = medpaq(1) * medpaq(2);
%fin alternativa para almacenar
%adecuando tamaños de paquetes original y procesado
if MEDpaq == COUNTC
    Paquete = PAQUETE;
elseif MEDpaq > COUNTC;
    DIF = MEDpaq - COUNTC;
    Paquete = Paquete(1:1:COUNTC);
    mp = size(Paquete);
    MP = mp(1) * mp(2);
    %else MEDpaq < COUNTC;
    %DIF = COUNTC - MEDpaq;
    %MATdif = zeros(1,DIF);
end
%fin de adecuacion de tamaños

k = k + 16;
i = i + 1;
end%while
end%for

for j=1:1:COUNTC,
    if PAQUETE(j) == 0,
        PAQUETE(j) = 160;
        C(j)=PAQUETE(j);
    else
        C(j)=C(j);
    end
end
end

TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = cputime-t
figure;
imshow(uint8(C))

```

Código Fuente correspondiente a las gráficas y resultados.

```

%%GRAFICANDO EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO SECUENCIAL DE UN VIDEO DE 60 [s]
%GRAFICA UNO
figure(1);
M = [243.1875 243.9531 246.3594 239.6250 247.9688 242.6094 242.0313 242.7813 247.2031 239.8125
245.8281 239.7031 247.0625 245.9844];
for m = 1:1:13,
    Z = M(m)+M(m+1);
    M(m+1) = Z;
    Sum = Z;
end
Med = Sum/14;
M = [243.1875 243.9531 246.3594 239.6250 247.9688 242.6094 242.0313 242.7813 247.2031 239.8125
245.8281 239.7031 247.0625 245.9844 Med];
bar(M,'g');
hold on
M = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Med];
bar(M,'r');
YLim([70 255]);
title('CORRIDAS ALGORITMO SECUENCIAL');
xlabel('Número de corrida');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
hold off

```

```

%GRAFICA DOS
Y = [243.1875 243.9531 246.3594 239.6250 247.9688 242.6094 242.0313 242.7813 247.2031 239.8125
245.8281 239.7031 247.0625 245.9844 Med];
figure(2);
for i = 1:1:14,
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i)/100:Y(i);
    YLim([240 250]);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
    title('PROCESAMIENTO SECUENCIAL');
    xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
    ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
    hold on
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i):Y(i)/200:Y(i);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
    %hold off
    if i==14,
        PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
        TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i+1)/100:Y(i+1);
        YLim([240 250]);
        plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r-')
        title('PROCESAMIENTO SECUENCIAL');
        xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
        ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
        hold on
        PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    end
end

```



```

    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i+1):Y(i+1)/200:Y(i+1);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r.')
end
end

%GRAFICA TRES
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Med/100:Med;
figure(3);
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g.')
title('PROCESAMIENTO SECUENCIAL');
xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
grid
hold on
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Med:Med/200:Med;
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r.')
hold off

%%GRAFICANDO EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO PROPUESTO DE UN VIDEO DE 15 [s]
%GRAFICA CUATRO
figure(4);
M = [63.1719 63.3125 63.2344 63.0938 63.2188 63.3750 63.3281 63.3281 63.2500 63.3281 63.1563 63.3438
63.2500 63.3594];
for m = 1:1:13,
    Z = M(m)+M(m+1);
    M(m+1) = Z;
    Sum = Z;
end
Med = Sum/14;
M = [63.1719 63.3125 63.2344 63.0938 63.2188 63.3750 63.3281 63.3281 63.2500 63.3281 63.1563 63.3438
63.2500 63.3594 Med];
bar(M,'g');
hold on
M = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Med];
bar(M,'r');
YLim([55 64]);
title('CORRIDAS ALGORITMO PROPUESTO A 4 SEGMENTOS');
xlabel('Número de corrida');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
hold off

%GRAFICA CINCO
Y = [63.1719 63.3125 63.2344 63.0938 63.2188 63.3750 63.3281 63.3281 63.2500 63.3281 63.1563 63.3438
63.2500 63.3594 Med];
figure(5);
for i = 1:1:14,
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i)/100:Y(i);
    YLim([62.9 63.4]);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')

```

```

title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 4 SEGMENTOS');
xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
hold on
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i):Y(i)/200:Y(i);
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
%hold off
if i==14,
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i+1)/100:Y(i+1);
    YLim([62.9 63.4]);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r-')
    title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 4 SEGMENTOS');
    xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
    ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
    hold on
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i+1):Y(i+1)/200:Y(i+1);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r-')
end
end

%GRAFICA SEIS
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Med/100:Med;
figure(6);
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 4 SEGMENTOS');
xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
grid
hold on
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Med:Med/200:Med;
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r-')
hold off

%%GRAFICANDO EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO PROPUESTO DE UN VIDEO DE 7.5 [s]
%GRAFICA SIETE
figure(7);
M = [32.7188 32.8125 32.7344 32.6719 32.7188 32.7813 32.7813 32.7188 32.7344 32.7188 32.7500 32.7344
32.8125 32.7813];
for m = 1:1:13,
    Z = M(m)+M(m+1);
    M(m+1) = Z;
    Sum = Z;
end
Med = Sum/14;
M = [32.7188 32.8125 32.7344 32.6719 32.7188 32.7813 32.7813 32.7188 32.7344 32.7188 32.7500 32.7344
32.8125 32.7813 Med];
bar(M,'g');

```

```

hold on
M = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Med];
bar(M,'r');
YLim([28 33.2]);
title('CORRIDAS ALGORITMO PROPUESTO A 8 SEGMENTOS');
xlabel('Número de corrida');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
hold off

%GRAFICA OCHO
Y = [32.7188 32.8125 32.7344 32.6719 32.7188 32.7813 32.7813 32.7188 32.7344 32.7188 32.7500 32.7344
32.8125 32.7813 Med];
figure(8);
for i = 1:14,
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i)/100:Y(i);
    YLim([32.6 32.9]);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
    title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 8 SEGMENTOS');
    xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
    ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
    hold on
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i):Y(i)/200:Y(i);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
    %hold off
    if i==14,
        PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
        TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i+1)/100:Y(i+1);
        YLim([32.6 32.9]);
        plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r.')
        title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 8 SEGMENTOS');
        xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
        ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
        hold on
        PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
        TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i+1):Y(i+1)/200:Y(i+1);
        plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'r.')
    end
end
end

%GRAFICA NUEVE
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Med/100:Med;
figure(9);
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO,TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg,'g-')
title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 8 SEGMENTOS');
xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
grid
hold on
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;

```

```

TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Med:Med/200:Med;
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'r.')
hold off

%%GRAFICANDO EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO PROPUESTO DE UN VIDEO DE 3.75 [s]
%GRAFICA DIEZ
figure(10);
M = [17.1719 17.2188 17.0938 17.1094 17.1406 17.2031 17.1719 17.2188 17.1875 17.1719 17.2031 17.1719 17.1875
17.2188];
for m = 1:1:13,
    Z = M(m)+M(m+1);
    M(m+1) = Z;
    Sum = Z;
end
Med = Sum/14;
M = [17.1719 17.2188 17.0938 17.1094 17.1406 17.2031 17.1719 17.2188 17.1875 17.1719 17.2031 17.1719 17.1875
17.2188 Med];
bar(M, 'g');
hold on
M = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Med];
bar(M, 'r');
YLim([15 17.5]);
title('CORRIDAS ALGORITMO PROPUESTO A 16 SEGMENTOS');
xlabel('Número de corrida');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
hold off

%GRAFICA ONCE
Y = [17.1719 17.2188 17.0938 17.1094 17.1406 17.2031 17.1719 17.2188 17.1875 17.1719 17.2031 17.1719 17.1875
17.2188 Med];
figure(11);
for i = 1:1:14,
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i)/100:Y(i);
    YLim([17 17.3]);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'g-')
    title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 16 SEGMENTOS');
    xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
    ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
    hold on
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i):Y(i)/200:Y(i);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'g-')
    %hold off
    if i==14,
        PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
        TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Y(i+1)/100:Y(i+1);
        YLim([17 17.3]);
        plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'r.')
        title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 16 SEGMENTOS');
        xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
        ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
    end
end

```

```

    hold on
    PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
    TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Y(i+1):Y(i+1)/200:Y(i+1);
    plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'r.')
end
end

%GRAFICA DOCE
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 0:1:100;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = 0:Med/100:Med;
figure(12);
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'g.')
title('PROCESAMIENTO PROPUESTO A 16 SEGMENTOS');
xlabel('Porcentaje de procesamiento [%]');
ylabel('Tiempo de procesamiento [s]');
grid
hold on
PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO = 100:1:300;
TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg = Med:Med/200:Med;
plot(PORCENTAJE_DE_PROCESAMIENTO, TIEMPO_DE_PROCESAMIENTO_seg, 'r.')
hold off

%COMPARATIVO DE LAS 4 GRAFICAS POR SEPARADO
subplot(2,2,1)
x = 1:1:14;
y = [243.1875 243.9531 246.3594 239.6250 247.9688 242.6094 242.0313 242.7813 247.2031 239.8125
245.8281 239.7031 247.0625 245.9844];
plot(x,y,'-rs','LineWidth',2,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','g',...
      'MarkerSize',10)
title('Algoritmo Secuencial');
ylabel('Tiempo de Procesamiento [s]');
xlabel('(a) Número de Corrida');
subplot(2,2,2)
m = 1:1:14;
n = [63.1719 63.3125 63.2344 63.0938 63.2188 63.3750 63.3281 63.3281 63.2500 63.3281 63.1563 63.3438
63.2500 63.3594];
plot(m,n,'-rs','LineWidth',2,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','b',...
      'MarkerSize',10)
title('Algoritmo Propuesto a 4 Segmentos');
ylabel('Tiempo de Procesamiento [s]');
xlabel('(b) Número de Corrida');
subplot(2,2,3)
m = 1:1:14;
n = [32.7188 32.8125 32.7344 32.6719 32.7188 32.7813 32.7813 32.7188 32.7344 32.7188 32.7500 32.7344
32.8125 32.7813];
plot(m,n,'-rs','LineWidth',2,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','y',...

```

```

        'MarkerSize',10)
title('Algoritmo Propuesto a 8 Segmentos');
ylabel('Tiempo de Procesamiento [s]');
xlabel('(c) Número de Corrida');
subplot(2,2,4)
m = 1:1:14;
n = [17.1719 17.2188 17.0938 17.1094 17.1406 17.2031 17.1719 17.2188 17.1875 17.1719 17.2031 17.1719 17.1875
17.2188];
plot(m,n,'-rs','LineWidth',2,...
     'MarkerEdgeColor','k',...
     'MarkerFaceColor','r',...
     'MarkerSize',10)
title('Algoritmo Propuesto a 16 Segmentos');
ylabel('Tiempo de Procesamiento [s]');
xlabel('(d) Número de Corrida');

%COMPARATIVO SOBRE LA MISMA GRAFICA
figure;
x = 1:1:14;
y = [243.1875 243.9531 246.3594 239.6250 247.9688 242.6094 242.0313 242.7813 247.2031 239.8125
245.8281 239.7031 247.0625 245.9844];
semilogy(x,y,'-ys','LineWidth',2,...
         'MarkerEdgeColor','k',...
         'MarkerFaceColor','g',...
         'MarkerSize',10)
title('Comparación Algoritmos');
ylabel('Tiempo de Procesamiento [s]');
xlabel('Número de Corrida');
hold on;
m = 1:1:14;
n = [63.1719 63.3125 63.2344 63.0938 63.2188 63.3750 63.3281 63.3281 63.2500 63.3281 63.1563 63.3438
63.2500 63.3594];
semilogy(m,n,'-rs','LineWidth',2,...
         'MarkerEdgeColor','k',...
         'MarkerFaceColor','b',...
         'MarkerSize',10)
m = 1:1:14;
n = [32.7188 32.8125 32.7344 32.6719 32.7188 32.7813 32.7813 32.7188 32.7344 32.7188 32.7500 32.7344
32.8125 32.7813];
semilogy(m,n,'-gs','LineWidth',2,...
         'MarkerEdgeColor','k',...
         'MarkerFaceColor','y',...
         'MarkerSize',10)
m = 1:1:14;
n = [17.1719 17.2188 17.0938 17.1094 17.1406 17.2031 17.1719 17.2188 17.1875 17.1719 17.2031 17.1719 17.1875
17.2188];
semilogy(m,n,'-bs','LineWidth',2,...
         'MarkerEdgeColor','k',...
         'MarkerFaceColor','r',...
         'MarkerSize',10)
hold off;

```

Referencias

- [1] PUTMAN, Peter H. *“The Basics of Digital Television.”* AVS Forum, CTS, ISF. 2005.
- [2] MUÑIZ, Irazú. Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones, A.C. © CINIT. *“Televisión IP: Una experiencia totalmente personalizada.”* 2004 – 2007.
- [3] Digital Video Broadcasting DVB Project. *“Broadcasting to Handhelds. The Global Technology Standard for Mobile Television.”* 2007.
- [4] Federal Communications Commission FCC. *“DTV: Lo que cada consumidor debe saber.”* Washington, DC. 2006.
- [5] Revisiones y recomendaciones:
- ATSC Standard, Digital Television Standard (A/53), Revision C with Amendment No. 1 (2004), Advanced Television Systems Committee.*
- ISO/IEC IS 13818-2, MPEG-2 Video, International Standard (1996), International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission.*
- ISO/IEC JTC1 CD 10918, Digital compression and coding of continuous-tone still images (1993), International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission.*
- EBU/ETSI TS 101 154 V1.7.1 (2005-06) Technical Specification, Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream, European Broadcasting Union/European Telecommunications Standards Institute.*
- EBU/ETSI TS 102 154 V1.2.1 (2004-05) Technical Specification, Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of Video and Audio Coding in Contribution and Primary Distribution Applications based on the MPEG-2 Transport Stream, European Broadcasting Union/European Telecommunications Standards Institute.*
- ARIB STD-B32 Version 1.5, ARIB Standard (2004), Video coding, audio coding and multiplexing specifications for digital broadcasting, Association of Radio Industries and Businesses.*
- [6] BETHENCOURT Machado, Tomás. *“Artículo Introductorio a la TDT.”* Televisión Digital, Colección BETA. 2001 – 2004.
- [7] WEBER, Joe. Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones, A.C. © CINIT *“La Convergencia en las Redes de Telecomunicaciones por Cable.”* 2004 – 2007.

-
- [8] MARTÍNEZ, Teresa. *“Triple Play. Beneficios Directos para consumidores.”* Revista Vértigo. 2006.
- [9] InTellon No New Wires. White Paper: *“IPTV Distribution in Home Networks.”* Intellon Corporation 2006.
- [10] White Paper: *“Especificaciones de un Sistema de Video IP MPEG-4.”* <http://www.indigovision.cn/extranet-20docs/especsistemaMPEG4v26.pdf>
- [11] NAVARRETE, Alejandro. Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones, A.C. © CINIT *“¿Cómo Opera la Tecnología DSL que Está Dándole Nueva Vida al Par de Cobre Telefónico para Proveer Servicios de Banda Ancha?”* 2004 – 2007.
- [12] TUDOR, P.N. Electronics & Communication Engineering Journal. *“MPEG-2 Video Compression”* 1995. & www.mpeg.org
- [13] E. Javier. *“DVD y MPEG.”* DV Magazine. Copyright © 2002 – 2007.
- [14] MPEG-2. La Enciclopedia Libre. Fecha de consulta: Febrero – Noviembre 2007. Disponible en.
- [15] MPEG-4. La Enciclopedia Libre. Fecha de consulta: Febrero – Noviembre 2007. Disponible en.
- [16] H.264/MPEG-4 AVC. La Enciclopedia Libre. Fecha de consulta: Febrero – Noviembre 2007. Disponible en.
- [17] Sullivan G., Topiwala P. and Luthra A., *“The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions,”* SPIE Conference on Applications of Digital Image Processing XXVII, vol. 5558, pp. 53-74, Agosto. 2004.
- [18] Richardson I. E.G., *H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia*, Wiley, 2003.
- [19] Wenger A., *“H.264/AVC Over IP,”* IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, pp. 645-656, Julio 2003.
- [20] Ghanbari M., *“Standard Codecs : Image Compression to Advanced Video Coding,”* Hertz, UK: IEE, 2003.
- [21] Marpe D. et al, *“Context-Based Binary Arithmetic Coding in the H.264/AVC Video Compression Standard,”* IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, pp. 620-635, Julio 2003.
- [22] Ochoa H., and Rao K.R., *“A New Modified Version of the HDWTSVD Coding System for Monochromatic Images,”* WSEAS Transaction on Systems, vol. 5 pp. 1190 – 1195, Mayo 2006.

- [23] Wien M., "Variable Block-Size Transform for H.264/AVC," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 604-613, Julio 2003.
- [24] Flierl M. and Girod B., "Generalized B Picture and the Draft H.264/AVC Video-Compression Standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, pp. 587-597, Julio 2003.
- [25] Golomb S. W., "Run-Length Encoding," *IEEE Trans. on Information Theory*, IT-12, pp. 399-401, Dic. 1966.
- [26] RODRIGUEZ L, Abelardo. Pérez M, Manuel. González T, Alberto. Hernández S, José. "DISEÑO DE UN ALGORITMO PARALELO PARA CODIFICACIÓN DE VIDEO MPEG4, SOBRE UN CLUSTER DE COMPUTADORAS PERSONALES." Instituto Tecnológico de Veracruz, México. Universidad Politécnica de Valencia, España.