



Facultad 2

“Calidad de video en los sistemas de IPTV con codificación AVS.”

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas.

Autores: Alexei Aguilera Valiente.

Osmeidis Guilarte Guevara.

Tutores: Ing. Darvis Dorvigny Dorvigny.

Ing. Serguei Guerra Fernández.

Ciudad de la Habana, Junio del 2010

“Año 52 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que somos los únicos autores de este trabajo y autorizamos a la Facultad 2 de la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de ____ del año _____.

Alexei Aguilera Valiente

Osmeidis Guilarte Guevara

Ing. Darvis Dorvigny Dorvigny

Ing. Serguei Guerra Fernández

A las cuatro mujeres de mi vida, Ramona, Isabel, Celia y Sadith por simples, sencillas y muy grandes, por ser perfectas para mí.

A Nereído, por ser el hombre que algún día quisiera ser.

A mí mismo porque este trabajo constituye el final de un camino por el cual atravesé 19 años y tuve que privarme de muchas cosas.

ALEX (Dr. Jekyll)

Esto se lo dedico a las tres mujeres más importantes de mi vida, mi tía Miraisy que siempre ha estado ahí para mí, a mi abuela María que sin ella no estaría aquí realizando este sueño y a mi preciosa niña Estephany.

A mí mismo por haberme esforzado toda mi vida y haberme privado de muchas cosas para poder llegar a este momento.

OSMEIDIS (Mr. Hyde)

A Ramona mi abuela querida, por ser el punto de partida en la toma de mis decisiones siendo la mayor inspiración de mi vida.

A Isabel por ser la mejor madre de este mundo y que gracias a sus exigencias hoy puedo ver los frutos.

A Nereido por su apoyo y dedicación en todo momento y por ser determinante a lo largo de mi carrera.

A Celia y Migue por confiar en mí, por el apoyo brindado en todo este tiempo.

A Sadith por ser una mujer muy especial, por ayudarme a seguir en un momento donde me sentí derrumbado, y por todo el amor que me ha regalado.

A Olga mi suegra por considerarme como un hijo más y Lisandra por acogerme como su familia.

A los aldeanos, Osmeidis el mejor compañero de tesis que he conocido, Falero y Javier por ser siempre sinceros, reales y especiales conmigo.

Al Michá porque aunque nos veamos poco siempre ha estado ahí en las buenas y en las malas.

A Yailét y la China por considerarme como un amigo en estos cinco años.

A Norma porque me ha enseñado que aun existen personas buenas y con buenas intenciones.

A las aldeanas Miru, Daniela, Vanessa y Yurelis por todos los momentos tan buenos que compartimos.

A todos mis compañeros de grupo tanto de la facultad 9 como de la facultad 2 con los que viví momentos inolvidables.

A los tutores por el tiempo dedicado y por mostrarme la salida cuando pensaba que todo estaba perdido.

A todas las personas que de una forma u otra fueron influyentes en la realización de este trabajo y en especial a Nilsa, Sandy, Grethel, Sadiel y Licel porque me brindaron un cariño sincero y desinteresado.

A todos, MUCHAS GRACIAS.

Dr. Jekyll

A María Julia por ser mi inspiración, que siempre ha estado ahí cuando yo la he necesitado y por brindarme todo el cariño del mundo.

A Miraisy Guevara por brindarme todo el apoyo del mundo y el cariño que le pueda brindar una madre a un hijo.

A mi niña Estephany por llegar y mostrarme el momento de parar y madurar, además de llenarme de muchos momentos felices desde que dios la trajo al mundo.

A Orlis Guilarte y Mariela Guevara que siempre he podido contar con ellos para todo y siempre me han brindado mucho amor y cariño.

A mis hermanas y hermanos pues son algo muy lindo y especial en mi vida, gracias por confiar siempre en mí.

A mis tíos y tías que siempre me han enseñado mucho de la vida y me han dado la mano cuando lo he necesitado.

Al Dr. Peter por haber estado siempre en los momentos más difíciles y alegres de mi vida, gracias por darme tu apoyo y cariño.

A mis primos y primas en especial a Yaima y Yanet por ser parte de mi vida diaria.

A Dayi por quererme tanto y darme todo el cariño como si fuera una madre más.

A mi compañero de tesis por ser un buen amigo y compañero en todo momento.

A los tutores por brindarnos siempre su apoyo incondicional.

A los aldeanos Alexei, Javier y Falero por ser sinceros conmigo, que de veras hemos pasado juntos los mejores momentos de nuestras vidas.

A mis grandes amistades de la vieja escuela: Leonardo, Yurito, Daniel, Daineris y Alieski porque compartimos y seguiremos compartiendo grandes momentos.

A las aldeanas Vanesa, Yurelis, Daniela, Marichu y Diana por compartir conmigo momentos emocionantes e inolvidables de mi vida.

A Norma Cabreja por ser tan especial en mi vida y poder contar con ella en todo momento.

A Yaillet y la China, por siempre estar ahí y demostrarme que sí existen amigos verdaderos.

A Yaillet la Rosa por siempre darme buenos consejos aunque muchas veces no los tomé en serio.

A Yuyín por ser una buena amiga en todo momento y brindarme la mano desinteresadamente, gracias por estar ahí.

A todos mis compañeros de aula, tanto de la facultad 9 como los de la facultad 2.

A mis compañeras sentimentales, que en su debido momento me mostraron cuán importante puede ser uno, pero que también me mostraron que nada es eterno, solo los conocimientos y sin saberlo me empujaron a conseguir superarme a mí mismo, a todos GRACIAS.



Los sistemas de transmisión de video digital han evolucionado rápidamente, y ha surgido una tecnología novedosa e interactiva para el usuario llamada IPTV (Televisión sobre el protocolo IP), que es una nueva forma de ver televisión. El principal problema que presenta este servicio es que necesita mantener en todo momento altos niveles de calidad de imagen, para ello es necesario contar con una herramienta capaz de monitorear la red IP y medir la calidad de video.

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA (ETECSA), desea incorporar esta tecnología a su gama de servicios y cuenta con un software capaz de medir la calidad de video pero solo para el estándar de codificación MPEG-2. En los últimos años, se ha lanzado un estándar de compresión de audio y video (AVS) con un bajo costo de implementación que logra altos niveles de calidad de imagen, por lo tanto este trabajo se centra en establecer parámetros que midan la calidad de video en redes IPTV que utilicen el sistema de codificación AVS. Se realizó un estudio profundo de los principales parámetros que existen para medir la calidad de video y un análisis detallado de la codificación AVS, con el objetivo de encontrar los valores umbrales correspondientes a cada parámetro, de acuerdo a las especificaciones que introduce el estándar AVS. En aras de lograr este objetivo se definió una propuesta de parámetros y sus respectivos valores umbrales.

Palabras Claves: Video digital, IPTV, Calidad de video, Estándar de codificación, AVS, Parámetros de calidad de video.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
1.1 Introducción	6
1.2 Los sistemas de televisión en sus orígenes.....	6
1.3 Sistema básico de transmisión de video digital.....	7
1.4 Sistema de Televisión Digital (DTV).....	8
1.4.1 Definición de DTV.....	9
1.4.2 Principales normas de la televisión digital.....	9
1.5 Introducción a IPTV	9
1.6 Principales Servicios de IPTV.....	10
1.6.1 Broadcast TV	10
1.6.2 Servicio de Video bajo Demanda (VoD)	11
1.7 Transmisión y recepción de la señal digital	11
1.8 Conceptos importantes.....	13
1.8.1 Calidad de Servicio (QoS)	13
1.8.2 Calidad de experiencia (QoE)	13
1.8.3 Latencia	13
1.8.4 Jitter.....	14
1.8.5 Multidifusión	14
1.8.6 Zapping.....	14
1.8.7 Streaming.....	14
1.8.8 CóDec.....	14
1.9 Introducción a la compresión de imágenes.....	15
1.9.1 Métodos de compresión	15
1.9.2 Técnicas básicas de compresión.....	16
1.9.3 Bases de la compresión.....	17
1.10 Principales estándares de codificación de video	18
1.10.1 MPEG (Moving Picture Experts Group)	18
1.10.2 Principales formatos de compresión MPEG	19
1.10.3 Estándar MPEG-2.....	20
1.10.4 Estándar MPEG-4.....	21
1.10.5 Estándar AVS	23
1.11 Conclusiones	24
CAPÍTULO 2. CALIDAD DE VIDEO Y CODIFICACIÓN AVS.....	26
2.1 Introducción	26
2.2 Calidad de video	26
2.2.1 Formas de medir la calidad de video	26

2.2.2	Métodos de calidad subjetiva	27
2.2.3	Método de calidad objetiva	28
2.3	Calidad de servicio y Calidad de experiencia	30
2.3.1	Dimensiones de QoE	32
2.3.2	Arquitectura de la capa de servicio.....	32
2.3.3	Arquitectura de la capa de aplicación	33
2.3.4	Arquitectura de la capa de transporte	33
2.4	Parámetros para medir la calidad de video	34
2.4.1	Latencia o Retardo	35
2.4.2	Jitter.....	35
2.4.3	Pérdida de paquetes	35
2.4.4	Razón de aspecto.....	35
2.4.5	Resolución del video	35
2.4.6	Perfil y Nivel.....	35
2.4.7	Formato de cromaticidad	36
2.4.8	Cantidad de cuadros por segundo.....	36
2.4.9	Máxima cantidad de bits por segundo	36
2.4.10	Razón de compresión	37
2.4.11	Tamaño de los bloques	37
2.4.12	Aspecto temporal o variación espacial	37
2.5	Características del estándar AVS	37
2.5.1	Formatos de escaneo de los datos.....	38
2.5.2	Formato de imagen.....	38
2.5.3	Estructura de capas.....	38
2.5.4	Secuencia.....	39
2.5.5	Imagen	39
2.5.6	Slice.....	40
2.5.7	Macrobloque	41
2.5.8	Bloque	41
2.6	Descripción general del AVS1-P2	41
2.6.1	Arquitectura del sistema	42
2.6.2	Herramientas de codificación.....	44
2.6.2.1	Predicción <i>intra</i>	44
2.6.2.2	Predicción <i>inter</i>	45
2.6.2.3	Transformada de enteros del coseno (ICT).....	45
2.6.2.4	Cuantificación.....	45
2.6.2.5	Codificación de la entropía.....	46
2.6.2.6	Filtro de desbloqueo.....	46
2.6.3	Perfil y Nivel.....	46
2.7	Análisis de la capa de abstracción de red (NAL) para AVS.....	47
2.8	AVS1-P2 vs H.264.....	49
2.9	Conclusiones	52

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE VIDEO EN AVS.....	53
3.1 Introducción	53
3.2 Propuesta de parámetros para la medición de la calidad de video que se obtienen a través de la trama de transporte para el AVS.	53
3.2.1 Pérdida de sincronismo (SL).....	54
3.2.2 Contador de Continuidad (CC)	54
3.2.3 Tabla de Asociación de Programas (PAT).....	55
3.2.4 Tabla de Mapeo de Programas (PMT).....	55
3.2.5 Referencia de Reloj para los Programas (PCR).....	56
3.2.6 Error de Transporte (TE)	56
3.2.7 Tablas de Información de Red (NIT).....	56
3.2.8 Tablas de Descripción de Servicios	57
3.2.9 Código de Redundancia Cíclica (CRC)	57
3.2.10 Error en la disponibilidad del servicio (SAE)	57
3.2.11 Error en la degradación del servicio (SDE)	58
3.2.12 Deterioro del servicio (SIE).....	58
3.3 Propuesta de parámetros de medición de la calidad de video que se obtienen a través del protocolo RTP para el AVS.	59
3.3.1 Pérdida de paquetes	59
3.3.2 Latencia y Jitter	60
3.4 Propuesta de parámetros para evaluar la calidad de video que se derivan de la codificación fuente en AVS.....	61
3.4.1 Perfil y Nivel.....	62
3.4.2 Formato de cromaticidad	62
3.4.3 Tamaño de las imágenes	63
3.4.4 Número de cuadros por segundo	64
3.4.5 Razón de aspecto.....	65
3.4.6 Razón de compresión	66
3.5 Validación de la propuesta	66
3.6 Conclusiones	71
CONCLUSIONES GENERALES.....	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	74
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	76

INTRODUCCIÓN

Dado el avance de las sociedades modernas se creó la televisión como forma de entretenimiento para las personas, convirtiéndose en un importante medio de difusión masiva y que permite mejorar la calidad de vida de los miembros de las mismas. Esta invención ha desencadenado constantes demandas por parte de los usuarios del mismo, así como continuas y diversas alternativas generadas por los especialistas para satisfacer a los consumidores de los productos televisivos.

Es así que la televisión ha tenido numerosas transformaciones, desde el surgimiento de la televisión mecánica y el inoscopio¹ hasta la televisión analógica que conocemos, la cual envía sus señales de forma electromagnética mediante ondas, utilizando la radiodifusión. De esta forma aparecen efectos indeseables como el ruido y la interferencia de señales, lo que deteriora la calidad de las imágenes que se reproducen mediante este medio, emergiendo la necesidad de nuevas formas de transmisión de las señales que se encuentren libres de estas distorsiones.

Surge entonces la televisión digital como forma de cumplir las expectativas de los receptores del servicio televisivo, pues esta nueva modalidad supone una mejora considerable en la calidad de imagen, dado que la transmisión de la señal se produce utilizando un ancho de banda menor al empleado por la televisión analógica, así como la supresión en esta nueva forma del ruido, la interferencia, entre otros efectos característicos de la anterior forma de transmisión. Esta televisión digital se encuentra dentro de los cambios operados por la llamada “Era Digital”, lo que permite comprender que en su instalación se encuentren operando varios especialistas en telecomunicaciones e informática, denotando los avances producidos en estas esferas de la vida científica y social de la sociedad actual.

Así mismo, el papel de las imágenes de video en las últimas décadas ha crecido considerablemente, ya que ha existido mayor demanda de las personas que utilizan los sistemas informáticos y también la televisión, ejerciendo notable influencia en los sistemas digitales multimedia. Para desplegar un buen servicio de televisión digital es necesario garantizar altos grados en la calidad de imagen, encontrando un escollo importante en la variabilidad de anchos de banda existentes para prestar este servicio. Un

¹ Aparato capaz de traducir imágenes en señales eléctricas, creado por Vladimir Zworykin.

método eficaz para la solución de este problema se constituye en la introducción de los métodos de compresión de video digital, los cuales posibilitan la reducción a grandes porcentajes de la señal digital aprovechándose de esta manera el ancho de banda con el que se cuenta.

La aplicación de estos métodos es efectiva en tanto se soluciona un problema existente, pero a la vez trae consigo pérdidas en la calidad de la imagen, ya que durante el proceso de compresión de video se pueden perder informaciones, restándole calidad visual a los datos que van a ser enviados. Se introducen entonces sistemas capaces de evaluar la señal comprimida que se trasmite por la red. Estos sistemas emplean métodos de calidad subjetiva y objetiva, de manera que se pueda proporcionar de una forma automática una medida de la calidad para una imagen o una secuencia de video codificada. Es por ello que para el desarrollo de la televisión digital en nuestro país sea necesario llevar a cabo estudios que permitan investigar exhaustivamente el funcionamiento de este sistema de transmisión para ofrecer un servicio de alta calidad, centrados en estos momentos en la búsqueda de una forma eficaz de medir la calidad de la imagen en los sistemas digitales.

Actualmente la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA (ETECSA), tiene entre sus planes de desarrollo, brindar servicios de televisión sobre protocolos IP, para ello pretende incorporar la tecnología de Televisión IP (IPTV), a sus diversas ofertas. Este servicio permite a sus usuarios disfrutar de una gran variedad de contenidos audiovisuales y permite además, llegar a lugares donde es difícil acceder por los medios convencionales de transmisión.

Para prestar este tipo de servicios, es necesario contar con una herramienta que permita en cada momento, evaluar a través de diferentes parámetros, la calidad del flujo de video recibido en determinados puntos de la red. Para lograr esto ETECSA cuenta con un software denominado *FreeProbe*, que fue elaborado por la Empresa de Telecomunicaciones de Italia, (*Telecom-Italia*) y suministrado a ETECSA en un convenio de asistencia técnica, para la implementación de la tecnología IPTV en Cuba. Esta sonda, tiene código fuente abierto y trabaja sobre los sistemas GNU/Linux. Este software, se presenta en dos modalidades, la primera como localizador de fallas del flujo de video, y la segunda como supervisor. El mismo, a través de diferentes parámetros, evalúa la calidad del video recibido, pero sólo lo hace para la codificación en MPEG-2.

En los últimos cinco años la República Popular China ha venido promoviendo un nuevo sistema de codificación denominado AVS (del inglés, *Audio Video Standard*), pudiéndose convertir en un estándar ampliamente utilizado, gracias a su bajo costo de implementación y a su razón de compresión manteniendo altos niveles de calidad de imagen. El grupo de IPTV de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) pretende en conjunto con ETECSA añadirle al software la capacidad de medir la calidad de video objetiva para sistemas IPTV que utilicen varios estándares de codificación, incluyendo el AVS. Nuestra universidad cuenta con la información necesaria y los parámetros para medir la calidad de video objetiva para la codificación MPEG-4 parte 10, no siendo así, para el estándar AVS, que debido a su poco tiempo en el mercado mundial existe desconocimiento en nuestra universidad. Por esta razón, es interés conocer con profundidad el funcionamiento de este sistema de codificación avanzado.

Teniendo en cuenta la problemática anteriormente explicada, el presente trabajo se plantea el siguiente problema científico: *¿Cómo medir la calidad de video en redes de IPTV donde se utilice el estándar AVS?*

La presente investigación posee como objeto de estudio: *los parámetros de calidad de video en redes de IPTV y los estándares de codificación de video, derivándose el siguiente campo de acción: los parámetros de calidad de video para el estándar AVS.*

La idea a defender que se establece en la presente investigación es la siguiente: *al establecer los parámetros de medición se logrará evaluar la calidad de los videos que sean codificados con el estándar AVS, facilitando así la implantación de esta codificación en sistemas IPTV.*

Para dar solución al problema científico se plantea el siguiente objetivo general de la investigación: *establecer parámetros que permitan la medición de la calidad de video en sistemas IPTV con codificación AVS.*

Para resolver la situación problemática y dar cumplimiento al objetivo general de la investigación, se proponen las siguientes tareas de la investigación:

1. *Analizar las fuentes bibliográficas que abordan el tema sobre la calidad de video de la señal digital en los sistemas IPTV.*
2. *Analizar las técnicas y herramientas que se utilizan para realizar la codificación de imágenes.*
3. *Caracterizar los métodos de medición de la calidad de video.*
4. *Caracterizar el estándar AVS.*
5. *Identificar las potencialidades que presenta el estándar en comparación con sus antecesores.*
6. *Identificar los parámetros a tener en cuenta para garantizar la calidad de video y sus valores umbrales.*

Con el propósito de lograr una mayor organización en la realización de la presente investigación se recurre a los siguientes métodos científicos:

Métodos Teóricos

Analítico - Sintético: Se utiliza en el estudio y comprensión de toda la información recopilada para llegar a conclusiones válidas y necesarias para el desarrollo de la investigación.

Histórico - Lógico: El uso de este método permite el estudio de los estándares de compresión de video y de sus tendencias actuales.

Inductivo - Deductivo: Con el objetivo de mostrar la lógica de las características de la televisión sobre el protocolo de internet y el estándar AVS.

Métodos Empíricos

Entrevista a expertos: Este método posibilita la obtención de información necesaria para la validación de la propuesta de los parámetros necesarios para medir la calidad de video en redes IPTV donde se utilice el estándar de codificación AVS.

Con la realización del presente trabajo se esperan obtener los siguientes resultados:

- Parámetros que evaluar la calidad de video objetiva en sistemas IPTV con codificación AVS.
- Material de consulta actualizado para posteriores estudios relacionados con el tema.

Los principales beneficiarios de la presente investigación serán el Grupo IPTV de la universidad, y ETECSA, pues los resultados obtenidos serán de utilidad para los equipos de desarrollo que enfrentan la implantación de la IPTV.

El contenido del presente trabajo está estructurado en tres capítulos. En el primer capítulo “Fundamentación Teórica” se presenta el estado del arte del tema, teniendo en cuenta el objeto de estudio y los objetivos. Son analizados algunos tópicos como: la televisión digital y su desarrollo, una introducción a la tecnología a la cual se le desea evaluar la calidad de video, la tecnología IPTV, además, se describen los principales servicios que ella ofrece. Se realiza una descripción de las principales técnicas y métodos que utilizan los estándares de codificación actualmente, los tipos de compresión existentes en la actualidad y algunos conceptos básicos de la compresión de imágenes, todo esto para caer en los principales estándares utilizados en la tecnología IPTV y dar detalles sobre cada uno de ellos.

En el segundo capítulo “Calidad de video y codificación AVS” se definen los conceptos básicos de la calidad de video y sus principales formas de medición, mediante los métodos de calidad subjetiva y objetiva. Además, se describen las medidas de calidad de servicio y de experiencia, las dimensiones de la calidad de experiencia y la arquitectura de sus principales capas. Se analizan los principales parámetros que existen para medir la calidad de video, así como la descripción del estándar AVS y una descripción general de la arquitectura del sistema de codificación AVS1-P2 (AVS parte 2), concluyendo con una comparación entre este sistema de codificación y el estándar MPEG-4 parte 10.

En el tercer capítulo “Propuestas de parámetros para evaluar la calidad de video en AVS” se proponen los parámetros para medir la calidad de video en redes IPTV que utilicen el estándar de codificación AVS, partiendo de un previo análisis del sistema de codificación empleado y los parámetros existentes para medir la calidad de video. Por último, se lleva a cabo la validación de la propuesta.

Finalmente, se dan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo y la bibliografía básica utilizada.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Introducción

La perspectiva de aplicar la televisión digital en nuestro país supone la realización de estudios acerca de la factibilidad de la misma. Es por ello que en el presente capítulo se realizará una exposición teórica acerca de los fundamentos de la televisión digital, de sus principales componentes, así como una introducción a la novedosa tecnología IPTV. Se presenta además una perspectiva general de los distintos elementos que integran un sistema de comunicación de imágenes en movimiento, abordándose los principios sobre la compresión de imágenes, entre ellos se destacan sus principales técnicas y métodos de compresión, describiéndose también los estándares MPEG-2, MPEG-4 y AVS. Toda esta fundamentación responde a la necesidad de ofrecer una panorámica de la tecnología a la cual se le desea evaluar la calidad de video.

1.2 Los sistemas de televisión en sus orígenes

La prehistoria de la televisión abarca un amplio período que se extiende, aproximadamente, desde finales del siglo XIX hasta 1935. Durante este período, algunos investigadores en los países tecnológicamente más avanzados como los EE.UU. (Estados Unidos de América), Gran Bretaña, Francia y Alemania, buscan transmitir imágenes a distancia: la televisión. Como ya se había logrado con el sonido, se trataba de captar imágenes utilizando una cámara, transmitir esas imágenes a través del aire y recibirlas en un aparato receptor a cierta distancia de donde originalmente se habían captado. Luego de una serie de inventos, marchas y contramarchas, en la década de los años veinte, surgen los dos primeros modelos de televisión: por un lado, la televisión mecánica, y por el otro, la televisión electrónica. Ambas se desarrollaron de forma paralela y accidentada, en un período caracterizado por la lucha, fundamentalmente en los EE.UU y en Gran Bretaña, entre distintas compañías e inventores por la adopción de un estándar técnico en los sistemas de difusión y recepción de imágenes. (1)

Esto demuestra que siempre los países con mayores niveles de desarrollo han sido los portadores de los principales cambios en materia de tecnología, pero en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo también se aplican estas formas respecto a la televisión. La televisión utilizada hasta finales de los años ochenta y principio de los noventa, fue analógica, y se dividió en tres grupos: la televisión terrestre, la televisión satelital y la televisión por cable. Fue entonces que en esos países

industrializados se comenzaron a realizar los primeros intentos para digitalizar las señales televisivas, marcándose en ello el inicio de la televisión digital.

1.3 Sistema básico de transmisión de video digital

Se presenta un diagrama general de un sistema de radiodifusión de señales de televisión en la figura 1.1. Los distintos elementos que forman este sistema tienen como objetivo transmitir la escena tridimensional para que pueda ser visualizada en tiempo real por múltiples receptores. Junto con la información óptica, también se transmiten una o varias señales adicionales que proporcionan información de audio sobre la escena. (2)

Figura 1. 1 Elementos de un sistema de comunicación visual.

Los sistemas de televisión atraviesan varios procesos que son fundamentales para la representación de las imágenes en movimiento, los llamados procesos de proyección y muestreo de la escena televisiva. Estos procesos encuentran su base fundamental en los estudios que se han realizado del comportamiento del sistema visual humano y sus principales características, componiéndose de distintas etapas las cuales se resumen a continuación:

- a) *Separación en componentes de color:* Toda la información contenida en la variable I puede representarse mediante tres componentes discretas que corresponden a los colores primarios rojo, verde y azul. Este proceso de muestreo no representa una pérdida de información aparente en el sistema visual humano.
- b) *Proyección plana de la imagen:* La escena se proyecta mediante un sistema óptico sobre un plano de imagen. Esta proyección representa una pérdida significativa de información espacial y reduce las tres variables espaciales de la escena a las dos variables de la imagen.
- c) *Límites del sensor:* La imagen de la escena sólo se considera dentro de los límites del sensor por lo que sus variables espaciales están acotadas dentro de estos límites. El tamaño del sensor y su relación de aspecto tienen una incidencia directa sobre la resolución del sistema y la integración del espectador en la escena.
- d) *Muestreo temporal:* Las imágenes pueden presentarse al espectador como una secuencia de fotogramas. Si esta secuencia es suficientemente rápida no puede distinguirse de la información original. La variable temporal, de naturaleza continua, puede sustituirse por una secuencia de imágenes sin pérdida aparente de información.

- e) *Muestreo espacial (Líneas)*: Cada una de las imágenes se descompone en un número finito de líneas. Si este número es suficientemente elevado, el espectador será incapaz de percibir la diferencia con la imagen original. Los sistemas de televisión analógicos surgen de manera natural a partir de este muestreo.
- f) *Muestreo espacial (Retícula)*: En este caso la imagen se muestrea tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Las muestras obtenidas constituyen la base de los sistemas de televisión digitales. (2)

La transmisión digital y la distribución por las redes de información audiovisual permiten establecer una comunicación multimedia sobre las redes que soportan el transporte de datos, facilitando el envío de secuencia de imágenes a lugares de difícil acceso por su situación geográfica. Este servicio está alcanzando una mayor aceptación por los beneficiarios de los sistemas de telecomunicaciones.

Existen dos formas básicas de transmisión de datos, la analógica y la digital. Una de las características fundamentales del video es que está compuesto por señales analógicas, por lo que puede transmitirse por ambas formas. Cuando se tiene una señal analógica se implica un proceso de digitalización, donde se convierten los datos que se integran en impulsos eléctricos utilizando códigos de ceros y uno. Al verse la información reducida a un flujo de bits se consigue una mayor protección contra posibles fallos y se pueden introducir mecanismos para la detección de errores, eliminándose los fenómenos de la interferencia y el efecto del ruido, consiguiendo codificaciones óptimas, con esta información se pueden manipular los datos por los ordenadores para efectuar la compresión.

Un sistema básico de transmisión de video digital presenta los siguientes componentes: (3)

- Una etapa de captura, codificación y compresión del audio/video.
- Un servidor capaz de almacenar y proveer los contenidos multimedias digitales.
- Un canal de distribución que conecte al cliente con el servidor, como por ejemplo una red IP.
- Finalmente un cliente reproductor multimedia, el cual descodifique el audio/video.

1.4 Sistema de Televisión Digital (DTV)

En 1994 inicia la Televisión Digital (DTV, del inglés *Digital Television*) con la introducción de los Sistemas de Televisión Vía Satélite (DBS, del inglés *Direct Broadcast Satellite*) o (DTH, del inglés *Direct To Home*). En contraste con la televisión tradicional, que envía sus ondas de manera analógica, la DTV codifica sus señales de forma binaria. (4)

1.4.1 Definición de DTV

La DTV consiste en la digitalización de la señal de televisión analógica. Esta digitalización llegó primero a la TV satelital, posibilitando la mejora de la oferta de la TV satelital analógica existente. (3)

La DTV presenta muchas ventajas en relación a la televisión analógica, entre sus principales aportes o beneficios se encuentran la posibilidad de incrementar notablemente el número de programas y servicios y al realizar un mejor uso del ancho de banda del medio de transmisión, se podrá mejorar la calidad de las imágenes y el sonido de las transmisiones y de las recepciones televisivas. Además, se establecen servicios personalizados e interactivos de radiodifusión y telecomunicaciones, facilitando la convergencia entre el sector audiovisual, las telecomunicaciones y la informática. Principalmente se pueden aplicar técnicas de compresión de audio y video.

1.4.2 Principales normas de la televisión digital

Para la televisión digital se han definido oficialmente tres normas, las cuales han sido adoptadas por la ITU y se mencionan a continuación: (5)

- El modelo estadounidense ATSC (Comité de Sistemas de Televisión Avanzada)
- El modelo europeo DVB (Radiodifusión de Video Digital)
- El modelo japonés ISDB (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados)

Otro modelo que ha sido definido y está siendo adoptado por varios países a nivel mundial es el modelo DTMB (del inglés, *Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting*), que fue promovido por China en el año 2006, es considerado como una potente norma por los beneficios que aporta en cuanto al tipo de modulación multiportadora utilizada, TDS-OFDM (del inglés, *Time Domain Synchronous - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y a otras herramientas innovadoras que utiliza con gran eficiencia y eficacia.

1.5 Introducción a IPTV

La televisión sobre el protocolo IP (del inglés, *Internet Protocol*) o IPTV como es comúnmente conocida, es la tecnología que plantea la trasmisión de señales de televisión sobre una red de conmutación de paquetes, tal como lo es la red IP. IPTV no es un protocolo en sí mismo, constituye

una técnica interactiva que ha sido desarrollada basándose en el video-streaming, que consiste en la distribución de audio o video por internet. En la actualidad esta técnica es frecuentemente ofrecida como parte del paquete de servicios *Triple Play*. Este tipo de servicio, pretende integrar los servicios de voz, datos y video sobre una misma red, en este caso el tipo de red escogida, es la que se rige por los estándares de protocolos, TCP/IP. (6)

Se presenta la arquitectura básica de un sistema IPTV. Véase [Anexo 1.a].

1.6 Principales Servicios de IPTV

En IPTV existen varias maneras de transmitir el contenido hacia los suscriptores. La difusión del contenido puede ser distribuida exclusivamente a un usuario específico (*unicast*), puede ser enviado a múltiples destinos simultáneamente dentro de la red (*multicast*) o puede ser difundido a todos los nodos de la red (*broadcast*). El uso eficiente de las técnicas de difusión trae consigo una mejor calidad de experiencia y aprovechamiento de los recursos de la red.

1.6.1 Broadcast TV

A través de este servicio, el usuario tiene acceso a un número determinado de señales de video, de forma similar al servicio de TV por cable que es ofrecido actualmente en el mercado. Al acceder al mismo, los usuarios se enfrentan a dos eventos relacionados con el cambio de canal (*zapping*):

- La necesidad de que el *Set Top Box*² (STB) seleccione un grupo de multidifusión correspondiente al canal que se desea recibir, liberando el grupo anterior (proceso de abandonar y unirse, de un grupo de multidifusión a otro). Este proceso puede consumir varias centenas de milisegundos. (7)
- La detección de las tramas de video comprimido, que permiten reconstruir la imagen, lo que puede ocurrir cada varios segundos. Este aspecto es el principal contribuyente a la lentitud del proceso de zapping, puesto que el video comprimido es eficiente si la información que se envía, permite reconstruir el cuadro de imagen en función de la información acumulada, enviando cuadros de actualización de una imagen completa.

² Estos son los terminales de abonado, denominados también equipos terminales en general para muchas tecnologías. Estos equipos serán los que adapten las señales provenientes de la red de datos a señales visibles en un televisor convencional.

De acuerdo al tipo de equipo de acceso STB, que se instale en la casa del cliente, el ancho de banda de que disponga la conexión del cliente, según el modo o tipo de acceso que utilice mediante la interfaz ADSL (Línea Digital Asimétrica del Subscriptor) u otro tipo de interfaz que se emplee, el cliente podrá acceder a una, dos o tres señales de video simultáneamente.

El cliente también podrá configurar su servicio, determinando cuál paquete de señales quiere recibir, si desea recibir temporalmente alguna señal que no está incluida en el paquete contratado, etc. (3) (7)

1.6.2 Servicio de Video bajo Demanda (VoD)

El usuario tiene disponible una serie de servicios que lo caracterizan como un sistema interactivo, como por ejemplo listas de películas, eventos en vivo, programas grabados, etc. De todos estos puede elegir entre sus preferencias y el momento en el que desea interactuar con estas opciones. La petición es recibida por los operadores y comienza el intercambio entre el servidor de video y el cliente, administrando el ancho de banda que se necesita para establecer la comunicación. El servicio de Video bajo Demanda (VoD del inglés, *Video on Demand*) debido a sus características naturales de transmisión, ocasiona una carga en la red de transporte que es directamente proporcional al número de clientes, porque a cada usuario se le destina un flujo unidifusión.

Como alternativa para aliviar a la red, se introduce el *Near VoD*, que es una alternativa del servicio anterior. Como para el VoD, cada suscriptor, inicia la visualización de las películas a tiempos distintos, no es posible economizar el uso de ancho de banda en la red. En caso de películas que son muy vistas (estrenos, lanzamientos, etc.) se puede tener la alternativa de emitir la misma como un canal más. De este modo, varios clientes estarán sincronizados con una misma emisión y se puede ahorrar en uso de ancho de banda de la red. Esto cuenta con el inconveniente, que los clientes se deben adaptar a los horarios que se inicia la emisión de cada una de ellas. Para minimizar el problema se pueden tener varias emisiones de la misma película separadas por ejemplo, cada media hora. (3)

1.7 Transmisión y recepción de la señal digital

Desde el momento en que se comienza a interactuar con los sistemas de transmisión de señales digitales, debe tenerse en cuenta el hecho de que en este proceso de transmisión y recepción intervienen muchos subsistemas que se integran para dar lugar a un sistema con una arquitectura robusta. Los principales se describen a continuación:

- a) *Sistemas de digitalización de la señal de audio y video.* Entenderemos que se trata de sistemas que digitalizan ambas señales a partir de señales analógicas y que obtienen un formato PCM convencional sin comprimir. En el caso de la señal de audio, el formato PCM es parecido al del sistema Compact Disc, con una frecuencia de muestreo de 44,1KHz por canal y 16 bits por muestra. Para la señal de video el formato digital de partida suele ser alguna variante del formato ITU-601 (normalmente 4:2:2 o 4:2:0). (2)
- b) *Sistemas de compresión / descompresión de la información.* La señal de video en formato ITU-601 tiene un gran volumen de datos que hacen inviable su transmisión directa. La compresión de esta información es la etapa más importante en la transmisión de video digital, ya que determina la calidad final de las imágenes que se reproducen y establece la eficiencia espectral del sistema de transmisión. La mayoría de los estándares de codificación combinan distintas estrategias, basadas tanto en la redundancia estadística de los datos como en las características de percepción del sistema visual humano. Están específicamente diseñado para proporcionar una calidad de la señal de video suficiente para su transmisión como señal de televisión. El análisis de la señal para su codificación en tiempo real es extremadamente complejo y se requiere de un hardware dedicado a estas funciones cuyo precio es relativamente elevado. La decodificación se realiza sin que el receptor deba tomar decisiones relevantes, por lo que se trata de sistemas más simples y relativamente económicos. La tasa de bits final que se consigue depende del tipo de señal de video, pudiendo estar entre 2 Mbits/s o 9 Mbits/s, lo que significa una compresión que oscila entre un factor de 15 a 40 respecto al formato 4:2:0. (2)
- c) *Multiplexación / Demultiplexación de señales de vídeo y audio y varios programas.* La trama de bits asociada a un canal puede estar formada por varios programas, cada uno de los cuales está constituido por una fuente de video y uno o varios canales de audio y datos. La información de audio y datos debe intercalarse entre la información de video para poder mantener una sincronía perfecta durante la reproducción. (2)
- d) *Transmisión / Recepción de las señales.* La transmisión de las señales de televisión digitales está normalizada (en Europa y otras áreas geográficas) por la organización DVB (del inglés, *Digital Video Broadcasting*). En países como Estados Unidos o Japón, donde el volumen de negocio vinculado a la televisión es muy importante, han aparecido sistemas propietarios ofrecidos por las plataformas productoras en los que se modifica tanto la codificación de la señal como, sobre todo, su formato de transmisión. El DVB cubre toda la normativa de

transmisión por satélite, cable y terrena y establece los procedimientos utilizados para el acceso a los programas, códigos de protección, sistemas de modulación, etc. (2)

De los principales subsistemas que fueron descritos anteriormente se estará profundizando a lo largo de la investigación en los sistemas de compresión y descompresión de la información, con el objetivo de comprender a plenitud el funcionamiento del estándar AVS.

1.8 Conceptos importantes

Este epígrafe se compone de diferentes conceptos claves para la comprensión del objeto de estudio: los parámetros para medir la calidad de video en redes IPTV, ya que dada la complejidad del mismo se hace necesaria la explicación de algunos elementos. El análisis de ellos posibilita que se analicen los contenidos de la calidad de video, o sea, el campo de acción de la presente investigación.

1.8.1 Calidad de Servicio (QoS)

Es una medida del funcionamiento del sistema a nivel del transporte de los paquetes y desde el punto de vista de la red. También se conoce como calidad de servicio a un conjunto de tecnologías y mecanismos que permiten al administrador de la red, proveer servicios diferenciados a ciertos usuarios, otorgando prioridad a determinados flujos de tráfico, de manera que se pueda manejar los efectos de la congestión. (8)

1.8.2 Calidad de experiencia (QoE)

Es una medida del funcionamiento del sistema a nivel del servicio extremo a extremo y desde la perspectiva del usuario. Brinda un indicativo de cuán bien el sistema satisface las expectativas y necesidades del cliente respecto al servicio. (8)

1.8.3 Latencia

Es el tiempo que le lleva a un paquete ir de un extremo al otro de la red. El retardo tiene varias componentes, el retardo de codificación (depende del estándar utilizado), el retardo de señalización (depende de las interfaces de los equipos, siendo menor este retardo cuanto mayor sea la velocidad de la interface), el retardo de propagación (depende del medio físico que se utilice y la distancia recorrida), el retardo de encolamiento (tiempo que un paquete está en una cola esperando a ser transmitido) y retardos de conmutación (tiempo que demora un *switch* (conmutador) o un *router* (enrutador) en poner los paquetes en una cola y decidir por cual interface los va a transmitir). (8)

1.8.4 Jitter

Es la medida de tiempo entre el momento en que se espera que un paquete llegue y efectivamente llega, o dicho de otra forma es la variación o diferencia de retardo entre paquetes. Como consecuencia que cada paquete, se almacena en buffers en la red y durante diferente tiempo (debido por ejemplo, a la carga de la red en los diferentes nodos), algunos paquetes se atrasan más que otros. En general el *jitter* es compensado a nivel de los elementos de la red. (8)

1.8.5 Multidifusión

La multidifusión utiliza una estrategia eficiente para el envío de los mensajes sobre cada enlace de la red (con el fin de disminuir el consumo de ancho de banda), utilizando cada enlace, a lo sumo una vez para cada paquete a ser difundido y creando copias cuando los enlaces en los destinos se dividen. (8)

1.8.6 Zapping

Se denomina *zapping*, al tiempo que transcurre cuando el usuario se separa de un grupo multidifusión y se une a otro grupo. (6)

1.8.7 Streaming

Las técnicas para la transmisión de video y audio en las redes IP habitualmente son conocidas como mecanismos de streaming. El streaming, se puede definir como una forma de transmitir información (generalmente multimedia), que permite al cliente ir consumiendo la información mientras que se está descargando. Antes, de la aparición de las técnicas de *streaming*, las aplicaciones multimedia usaban Internet únicamente para realizar transferencias de archivos, (una vez que los contenidos eran descargados completamente podían ser reproducidos). (6)

1.8.8 CóDec

Al par codificador/ decodificador se le denomina *CóDec*. La compresión se encuentra completamente especificada por un par de sistemas: el codificador y el decodificador. El codificador convierte un CIF (señal de video en formato intermedio), previamente capturada, a un formato comprimido. Este formato comprimido es conocido por el decodificador, el cual regenera la señal de video intermedia para luego ser presentada en un televisor o monitor. (9)

1.9 Introducción a la compresión de imágenes

En el proceso de digitalización de las señales analógicas se obtienen enormes ventajas, logrando una señal más compacta con muchas facilidades en el manejo de los datos, teniendo la posibilidad de encriptar las señales, de introducir mecanismos de protección frente al ruido, además de eliminar la interferencia que encontraba la señal analógica mientras viajaba por medios irregulares. Cuando se realiza la digitalización de secuencias de video, esta se lleva a cabo a la máxima calidad posible, evitando la pérdida de información en las imágenes, es por esta razón que la señal resultante presentará una alta tasa de bits para su futura transmisión, necesitando un ancho de banda de 165 Mbits/segundo. La mayoría de las redes existentes realizan su transmisión de información a 100 Mbits/segundo, por lo que no es posible ni recomendable, transmitir la señal digitalizada sin realizarle alguna modificación. Para remediar este problema fueron desarrolladas un conjunto de técnicas y herramientas que comprimen la información, llamadas técnicas de compresión de video e imágenes.

Un sistema de compresión de información suele estar formado por dos etapas que se ilustran en la figura 1.2. La transformación de los datos es un procedimiento genérico que se utiliza para representar la información en una forma alternativa y en la que, en principio, resulta más evidente la redundancia existente en los datos originales. Es necesario que esta transformación sea invertible, es decir, que a partir de los datos transformados podamos recuperar exactamente la información original. (2)

Figura 1. 2 Proceso general de codificación y decodificación de la información (2)

1.9.1 Métodos de compresión

Los sistemas de compresión de información basan su funcionamiento en técnicas y herramientas de compresión, que son combinadas para satisfacer diversas necesidades. La compresión está caracterizada por dos grupos fundamentales, un primer grupo que realiza su proceso sin eliminar ningún tipo de información, estos son los métodos de compresión sin pérdidas llamados también *lossless* en inglés; el otro grupo ejecuta su proceso eliminando la información redundante, estos son los métodos de compresión con pérdida denominados *lossy* en inglés. Se describen ambos métodos para su mejor comprensión:

- a) *Los métodos de compresión sin pérdidas:* son utilizados fundamentalmente en archivos digitales para su codificación y en los cuales es preciso mantener la información original sin ocasionar pérdidas de datos en los mismos. También se aplican en el tratamiento de imágenes

cuando es necesario mantener la integridad de la información, tal es el caso de las imágenes médicas o científicas pues en ellas resulta esencial preservar el formato original así como toda la información. El estándar JPEG posee una variante de codificación en la cual utiliza la compresión sin pérdida, al igual que el sistema de compresión LZW que es utilizado por los estándares de compresión de video para la codificación de imágenes I³.

- b) *La compresión con pérdidas*: es empleada principalmente en la codificación de audio y video, y se sustenta en la eliminación de la redundancia temporal y espacial que puedan presentar las imágenes o píxeles próximos. Se aplica sobre la base de estudios realizados al sistema visual y auditivo humano, concluyendo que, basándose en las propias características del ojo y el oído, pueden eliminarse ciertos datos que no serán apreciados por estos órganos sensitivos, manteniendo una alta calidad de las señales codificadas. Este método se utiliza en varios estándares de compresión de video, ejemplo de ellos en los estándares de MPEG, el AVS, entre otros.

1.9.2 Técnicas básicas de compresión

A continuación se explican las técnicas básicas más utilizadas por los estándares de compresión de video:

- a) *Cuantificación*: Se centra en la reducción del flujo de bits para obtener una secuencia de bits más compacta, para ello realiza una sola combinación de bits para describir datos que sean iguales, es decir, elimina la información redundante.
- b) *Predicción*: Se basa en las similitudes que puedan existir entre las imágenes o los píxeles que estén próximos unos a los otros, tratando siempre de utilizar menos bits para la descripción de ellos.
- c) *Transformación y aplicación de filtros*: La transformación convierte la información de los píxeles en coeficientes numéricos, obteniendo matrices numéricas que representan las imágenes. A estas matrices se le pueden aplicar filtros que eliminan los posibles errores que puedan haberse introducido durante la transformación.
- d) *Compresión basada en modelos*: La existencia de varios modelos para la compresión permite que se puedan aplicar indistintamente de acuerdo a las necesidades y a los niveles de compresión que se quieran alcanzar, posibilitando obtener grandes tasas de compresión.

³ Imágenes *intra*, son tomadas por el decodificador como imágenes de partida para realizar el proceso de decodificación.

1.9.3 Bases de la compresión

La compresión de video aprovecha las ventajas que proporciona la redundancia espacial y temporal, es por ello que se explican brevemente sus características básicas, así como la introducción de los llamados vectores de compensación de movimiento.

- a) *Codificación espacial:* El primer paso en la codificación espacial, es realizar un análisis de frecuencias usando por ejemplo, la transformada discreta de Fourier. Esto permite de una manera simple, expresar una forma de onda en un dominio diferente, el dominio de la frecuencia. La salida de la transformada, está dada por unos coeficientes, los cuales describen, que cantidad de una frecuencia dada, está presente en una imagen. Un proceso inverso reproduce la forma de onda original. Si los coeficientes son manejados con suficiente exactitud, la salida de la transformada inversa será muy similar a la señal original. Cada píxel de la imagen, está compuesto por una componente de luminancia (Y) y dos de crominancia (Cb, Cr), representando los colores azul y rojo respectivamente. La información de brillo y color son tratadas de forma diferente por el sistema visual humano, ya que éste, es más sensible al brillo que al color. Por lo que se usa un componente especial para representar la información del brillo, la luminancia y una para el color y la saturación, la crominancia. Cada muestra de color se codifica en una señal Y-U-V (Y luminancia, U y V crominancia), partiendo de los valores del sistema RGB (Rojo, Verde y Azul). Con este sistema las diferencias de color pueden ser muestreadas sin resultados visibles, lo que permite que la misma información sea codificada con menos ancho de banda. A estas señales, se les aplica la transformada, obteniéndose, los coeficientes mencionados. En la obtención de tales coeficientes, no se logra compresión alguna, la compresión es lograda en el proceso de cuantificación, cuando a los coeficientes que representan las componentes de altas frecuencias le son asignadas un número mayor de bits, que aquellos que corresponden a las bajas frecuencias. Esto es así, puesto que en las componentes de altas frecuencias se encuentran localizados el mayor número de detalles de la imagen. (3)
- b) *Codificación temporal:* Esta codificación explota, el concepto de redundancia temporal, la cual se basa en las similitudes existentes entre imágenes sucesivas para solo transmitir las diferencias entre las imágenes. (3)
- c) *Vector de compensación de movimiento:* Este vector, reduce las similitudes entre las imágenes e incrementa los datos necesarios para crear una imagen diferencia. Cuando se observa que

un objeto se mueve en la pantalla del televisor, este puede localizarse en diferentes lugares en cada imagen, pero su apariencia no cambia mucho. La imagen diferencia puede ser reducida por la estimación del movimiento en el codificador. Toda esta información es enviada al decodificador como un vector. El decodificador usa el vector para cambiar las partes de la imagen anterior al más apropiado lugar en la nueva imagen. Un vector controla los cambios de un área entera de la figura. Se puede decir que la estimación es realizada por la comparación del valor de luminancia entre dos imágenes sucesivas. (3)

1.10 Principales estándares de codificación de video

La finalidad de los codificadores de video es obtener un almacenamiento sustancialmente menor que la información de video. Esta se comprime en el momento de guardar la información hacia un archivo y se descomprime, en tiempo real, durante la visualización. Se pretende, por otro lado, que el proceso sea transparente para el usuario, es decir, que no intervenga o lo haga lo menos posible. Existen varios tipos de codificadores de video, variando en su calidad en dependencia del método de compresión de video digital.

1.10.1 MPEG (*Moving Picture Experts Group*)

MPEG define la sintaxis de las señales digitales correspondientes a video y audio, tanto de origen natural como sintetizado, describe su estructura, contenido y regula el funcionamiento de decodificadores estandarizados. (10)

Los algoritmos del MPEG comprimen la información en pequeños paquetes que pueden ser transmitidos fácilmente y después ser descomprimidos. El MPEG alcanza su alta tasa de compresión almacenando solamente los cambios de un *frame* al siguiente, en vez de almacenar el *frame* entero. La información del video se codifica entonces usando la técnica de la DCT (del inglés, *Discrete Cosine Transform*). (11)

El MPEG está compuesto por varios estándares o fases. Los estándares se identifican con números (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7 y MPEG-21). Estas fases, no describen diversas versiones de una única norma, sino que son normas completamente distintas que se encargan de aspectos diferentes de la comunicación multimedia. Así, las últimas fases no reemplazan a las anteriores sino que las complementan. (3)

1.10.2 Principales formatos de compresión MPEG

MPEG-1: Es el estándar inicial de compresión de audio y video. Proporciona video con una resolución de 352x240 píxeles a 30 fps. Esto produce una calidad de video levemente inferior a la calidad de los videos convencionales. Incluye el formato de compresión de audio de Capa 3 (mp3). (11)

MPEG-2: Estándar para audio y video para difusión de calidad de televisión. Ofrece resoluciones de 720x480 píxeles y de 1280x720 píxeles a 60 fps, con calidad de audio similar a las del Disco Compacto (CD, del inglés *Compact Disc*). Esto es suficiente para la mayoría de estándares de TV, incluyendo NTSC, e incluso HDTV. MPEG-2 se utiliza para servicios de TV por satélite y señales de TV digital por cable, y puede comprimir un video de 2 horas en algunos gigabytes. Aunque descomprimir una secuencia de datos MPEG-2 no requiere muchos recursos del ordenador, la codificación a formato MPEG-2 requiere considerablemente más energía para el proceso. (11)

MPEG-4: Algoritmo estándar de compresión de gráficos y video basado en la tecnología de MPEG-1, MPEG-2 y *Apple QuickTime*. Los archivos MPEG-4 son más pequeños que los archivos JPEG o QuickTime, así que se diseñan para transmitir video e imágenes a través de un ancho de banda estrecho y pueden mezclar video con texto, gráficos y capas de animación en dos dimensiones (2D) y tres dimensiones (3D). (11)

MPEG-7: Formalmente llamado *Multimedia Content Description Interface*, proporciona un sistema de herramientas para contenido multimedia, se diseña para ser genérico y no apunta a un uso específico.

MPEG-21: Incluye un Lenguaje de Expresión Correcta (REL, del inglés *Rights Expression Language*) y un Diccionario de Datos Correctos (RDD, del inglés *Rights Data Dictionary*). A diferencia de otros estándares MPEG que describen métodos de compresión y codificación, MPEG-21 describe un estándar que define la descripción del contenido y también los procesos para acceder, buscar, almacenar y proteger el copyright del contenido. (11)

Para las pruebas y medidas en el MPEG se utiliza el estándar DVB TR 101 290. Puede ser usado para detectar problemas a la hora del transporte de la imagen o una pérdida o desorden de los paquetes usando un comprobador de la continuidad. La monitorización puede ayudar a ver cómo de grande es el error que se está produciendo en la red, pero saber cuándo y cómo un servicio no está disponible o tiene una baja calidad es más complicado. (6)

1.10.3 Estándar MPEG-2

El estándar MPEG-2, se encuentra completamente definido en la ISO/IEC 13818. Esta norma se encuentra dividida en partes según el tema. Cada parte se considera un estándar en sí mismo, por tanto de forma más correcta: MPEG-2 es un conjunto de estándares. Las partes que forman el MPEG-2 se ilustran en la tabla 1.1. (3)

Tabla 1. 1 Partes del sistema MPEG-2.

Partes	Elementos	Breve descripción
1	Sistema.	Sincronización y multiplexado de video y audio.
2	Video.	Especifica la sintaxis de codificación y decodificación para señales de video entrelazado y progresivo.
3	Audio.	Especifica la sintaxis de codificación y decodificación para señales de audio.
4	Conformación de Pruebas.	Describe maniobras de pruebas de cumplimiento del estándar.
5	Simulación de Software.	Describe sistemas para simulación por Software.
6	Extensión de sistemas DSM-CC.	Provee protocolos para el establecimiento de sesiones en diferentes redes y para el control remoto de un servidor con contenidos MPEG-2.
7	Codificación de Audio Avanzada.	Provee una nueva codificación de audio multicanal, la cual no es compatible con el formato de audio en MPEG-1.
8	VOID.	Estaba dirigido para soportar codificaciones de video cuando las muestras eran representadas con una exactitud de más de 8 bits, pero este desarrollo fue interrumpido

		cuando el interés de la industria que la había solicitado no se materializó.
9	Extensión de Sistemas RTI (Interfaz en Tiempo Real).	Provee una interface estándar en tiempo real entre el flujo de transporte de MPEG-2 y un decodificador.
10	Conformación de la Extensión DSM-CC.	-
11	IPMP en Sistemas MPEG-2.	Describe el manejo de la propiedad intelectual, estableciendo una arquitectura para proteger el derecho de autor.

1.10.4 Estándar MPEG-4

Introducido a finales de 1998, MPEG-4 es un grupo de estándares de codificación de audio y video, así como su tecnología relacionada que fue 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.

MPEG-4 toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 así como de otros estándares relacionados, tales como soporte de VRML (del inglés, *Virtual Reality Modeling Language*) extendido para Visualización 3D, archivos compuestos en orientación a objetos (incluyendo objetos audio, video y VRML), soporte para la gestión de Derechos Digitales externos y variados tipos de interactividad.

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. (3)

MPEG-4 está formado por varios estándares, llamados partes que se ilustran en la tabla 1.2.

Tabla 1. 2 Partes del sistema MPEG-4

Partes	Elementos	Breve descripción
--------	-----------	-------------------

1	Sistema.	Describe la sincronización y la transmisión simultánea de audio y video.
2	Video.	Describe un códec de compresión para elementos visuales (video, texturas, imágenes sintéticas, etc.). Uno de los muchos perfiles definidos en la Parte 2 es el perfil simple avanzado (ASP).
3	Audio.	Describe un conjunto de códec de compresión para la codificación de flujos de audio; se incluyen variantes de codificación de audio avanzado (AAC), así como herramientas de codificación de audio y habla.
4	Conformación de Pruebas.	Describe los procedimientos para verificar la conformidad de otras partes del estándar.
5	Referencia de Software.	Formado por elementos de software que demuestran y clarifican las otras partes del estándar.
6	DMIF.	Describe la trama de integración de entrega de multimedia.
7	Herramientas de Software optimizado para MPEG-4.	Contiene ejemplos de cómo realizar implementaciones optimizadas (por ejemplo, en relación con la Parte 5).
8	Transporte sobre redes IP.	Especifica un método para transportar contenido MPEG-4 sobre redes IP.
9	Descripción del Hardware de referencia.	Provee diseños de hardware que demuestran implementaciones de otras partes del estándar.
10	Codificación de video avanzada.	Un CODEC de señales de video. Estandarizado en conjunto con la UIT-T.
11	BIFS.	Describe la ingeniería de aplicación y descripción de escenas para los contenidos interactivos en segunda y tercera dimensión.
12	Formato para medios	Describe un formato de archivos para almacenar

	audiovisuales basado en la ISO.	contenidos multimedia.
13	Extensiones de IPMP.	Extensiones para el manejo y protección de la Propiedad Intelectual.
14	Formato de archivo MPEG-4.	Describe el formato de archivo del contenedor designado para contenidos MPEG-4 (basado en la Parte 12).
15	Formato de archivo AVC.	Describe el almacenamiento de video parte 10, basado en la parte 12.
16	AFX	Extensión de la trama de animación.
17	Formato de texto para el streaming.	Describe el formato de los subtítulos.
18	Fuentes de compresión y streaming.	Describe la compresión y transmisión del flujo de fuentes tipográficas (para fuentes de tipo abierto).
19	Flujos de texturas sintetizadas.	Describe el flujo de texturas.
20	LASER	Describe la aplicación liviana para la representación de escenas.
21	GFX	Extensión de MPEG-J para suministros.
22	OFFS	Especificación de formato abierto para fuentes basado en fuentes de tipo abierto.

1.10.5 Estándar AVS

El AVS es un estándar de nueva generación lanzado por la República Popular China. Este estándar se acogió como candidato de las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU del inglés, *International Telecommunication Union*) en febrero de 2006 y fue adoptado como estándar nacional en mayo de ese mismo año. Este estándar no se limita a ser una norma nacional, sino que constituye un estándar abierto.

El AVS ofrece mejoras en la calidad del video, una mayor eficiencia en el proceso de codificación, así como, un alto rendimiento en la compresión y descompresión de video digital, con el fin de reducir la

cantidad de ancho de banda necesaria para transmitir y almacenar el video. Entre sus ventajas para los sistemas de video IP que utilizan este estándar, se encuentra la posibilidad de continuar ofreciendo un video digital de alta calidad y baja latencia, pero con un sistema de codificación menos complejo y con un menor costo de implementación con respecto al estándar H.264. (10)

Al igual que los estándares de MPEG, el AVS está compuesto por varias partes como se muestra en la tabla 1.3.

Tabla 1. 3 Estructura del Estándar AVS

Partes	Contenido	Estado
1	<i>Sistema Broadcasting</i>	Proyecto Final del Comité
2	SD/HD Video	Estándar Nacional
3	Audio	Proyecto Final
4	Prueba de Conformidad	Proyecto Final del Comité
5	Software de referencia	Proyecto Final del Comité
6	<i>Digital Righth Management (DRM)</i>	Proyecto Final del Comité
7	<i>Mobility Video</i>	Proyecto Final
8	Sistema sobre IP	Proyecto Final
9	Formato de Archivo	Proyecto Final

De estas nueve partes se estará enfatizando en la parte dos que es la encargada del tratamiento del video para la televisión estándar y la televisión de alta definición. Es también denominado AVS1.0 o AVS1-P2, que se estará describiendo con profundidad en el próximo capítulo de la presente investigación.

Muchos de los productos relacionados con el estándar AVS y los sistemas que lo soportan han sido liberados en los últimos años. El sistema AVS para IPTV es construido por CNC (del inglés, *China Netcom Group*), que es un líder en comunicaciones de banda ancha fija y operador de telecomunicaciones de línea en China, véase [Anexo 1.b]. (10)

1.11 Conclusiones

En este capítulo se realizó un breve recorrido sobre el desarrollo que ha tenido la televisión hasta tocar el concepto de IPTV. Sobre esta tecnología se realizó una breve introducción, tocando elementos

fundamentales como los servicios que brinda, que la convierten en una tecnología novedosa y de grandes perspectivas mundiales. Se realizó un análisis de los métodos de compresión que utilizan la mayoría de los estándares de compresión de video, y se realizó una descripción de los estándares más utilizados en los sistemas IPTV. Todo esto para lograr entender y adentrarse en la tecnología donde se desea evaluar la calidad de video, y además comprender cómo funcionan los sistemas de compresión de video digital.

CAPÍTULO 2. CALIDAD DE VIDEO Y CODIFICACIÓN AVS

2.1 Introducción

En este capítulo se realiza un análisis de los principales factores y los métodos que existen para medir la calidad del video transmitido. Además, se analiza y describe el estándar AVS con el objetivo de comprender su método de codificación y decodificación. Así se lograría entender mejor el funcionamiento de este sistema de codificación e identificar los parámetros necesarios para medir la calidad de video.

2.2 Calidad de video

La calidad de video es un concepto que cada día toma mayor fuerza y los operadores de las redes de telecomunicaciones le dan prioridad a la hora de implementar sus principales servicios. Cuando se desea ofrecer servicios *triple play* es de vital importancia mantener altos niveles en la calidad del video, porque este es muy propenso al deterioro de la integridad de los paquetes y a la pérdida de ellos, debido a sus propias características y al proceso de compresión por el que debe atravesar antes de ser enviado. Por todo esto es necesario emplear técnicas y métodos que den la información de cómo se está comportando el video en el momento de atravesar el medio de transporte, si existió pérdida de algún paquete y si hubo retardo en la llegada de los mismos, o algún otro error que pueda introducirse por las mismas características de la red de telecomunicaciones. Esto involucra la necesidad de encontrar parámetros de la red que se puedan medir en todo momento y nos den la información de la calidad con la que se está recibiendo el servicio de video.

2.2.1 Formas de medir la calidad de video

Cuando se piensa en medir la calidad de las imágenes es necesario tener presente las técnicas que son empleadas para ello, estas se dividen en cualitativas y cuantitativas en dependencia de cómo y por quién sea realizada la medición.

- a) *Las técnicas cualitativas*: Permiten evaluar una señal de manera subjetiva, de forma que la señal se observe y analice con la intención de detectar patrones que puedan indicar la presencia de irregularidades. Estas técnicas son, por lo regular, utilizadas para apuntar posibles causas y determinar estrategias en la solución de problemas.

- b) *Las técnicas cuantitativas*: Proveen un dato numérico que se compara con algún parámetro recomendado o correspondiente a alguna especificación. Una medida cuantitativa es sumamente confiable, mientras que las técnicas cualitativas dependen de la percepción particular y de la experiencia. (11)

De estas dos técnicas que fueron descritas anteriormente se derivan las formas de medición subjetiva y objetiva de la imagen, que serán explicadas a continuación.

2.2.2 Métodos de calidad subjetiva

Los métodos de calidad subjetiva parten de reconocer que son las personas las que legitiman la calidad del video, en tanto, perciben de forma natural el producto terminado. Los receptores, expertos o cualquier persona que interactúe con el video, dada su posición respecto a su consumo y la experiencia que en materia de este tipo de información posee, así será el nivel de confiabilidad de su opinión con relación a la calidad percibida de video.

Los métodos de medida de calidad subjetiva han sido estandarizados por la ITU en su recomendación BT.500. Los métodos pueden dividirse en dos grupos: (12)

- a) *Métodos de Estímulo Doble (del inglés, Double Stimulus)*: Emplean tanto la señal de referencia como la de prueba.
- b) *Métodos de Estímulo Único (del inglés, Single Stimulus)*: Sólo utilizan la señal de prueba.

La característica fundamental de los métodos de estímulo doble tiene su base en que es necesario para su implementación contar con la señal de prueba y la señal de referencia. El más común del primer grupo es el denominado método de Doble Estímulo con Escala de Calidad Continua (DSCQS del inglés, *Double Stimulus Continuous Quality Scale*). En él, cada prueba consta de un par de estímulos: la referencia y la secuencia de prueba. Los estímulos se muestran dos veces cada uno con un orden elegido al azar. Los observadores evalúan cada estímulo con un valor dentro de una escala continua. Otros métodos son el de Escala de Degradación con Doble Estímulo (DSIS del inglés, *Double Stimulus Impairment Scale*) o el de Voto Binario con Doble Estímulo (DSBV del inglés, *Double Stimulus Binary Vote*). (12)

Los métodos de estímulo único sólo presentan una secuencia por prueba. Los observadores votan cada estímulo ajustándose a una escala de calidad de cinco valores. Estos métodos son apropiados cuando se trabaja en ausencia de referencia. (12)

Los métodos de evaluación subjetiva permiten evaluar desde una perspectiva diferente la calidad de los videos, pues no sólo los métodos objetivos evidencian en qué media se distorsiona o no la imagen, sino que el criterio de los observadores influye en los resultados de las mediciones. Es por esta razón que es necesario complementar las mediciones objetivas con las subjetivas para un resultado más completo y fiable.

Para realizar las evaluaciones subjetivas de la imagen existen dos clases, que se describen a continuación:

- a) Evaluaciones de calidad: determinan la calidad de funcionamiento del sistema en evaluación bajo condiciones óptimas.
- b) Evaluaciones de degradación: evalúan la capacidad de los sistemas de mantener la calidad en condiciones no óptimas relacionadas con la calidad de la transmisión o emisión. (12)

El proceso de medida subjetiva posibilita que la información sobre la calidad de los videos sea la más cercana a la realidad, pues procede directamente de las personas que reciben la señal, es por eso que se configura como la calidad de experiencia. Resulta importante destacar que en el proceso real de medición de la calidad de imagen, utilizando este método, es poco factible su aplicación en tiempo real, ya que se requeriría de gran cantidad de recursos humanos y no podría implementarse una aplicación automática capaz de repetir el proceso tantas veces como se envíe la señal.

2.2.3 Método de calidad objetiva

Todos los análisis de calidad objetiva de video digital están basados en distintas medidas de las diferencias entre la secuencia original y la comprimida o degradada. Existen muchos parámetros y componentes que afectan la calidad de video en los sistemas de IPTV. Las técnicas de medición objetivas, aunque no son tan exactas como las mediciones de calidad subjetiva, ofrecen un buen compromiso para ayudar a valorar la calidad del mismo. Estas mediciones se dividen en cuatro técnicas: (3)

- a) Técnicas basadas en los modelos de percepción humana del video.
- b) Técnicas basadas en los parámetros del flujo de video.
- c) Técnicas basadas en el deterioro de los parámetros de la red.
- d) Técnicas basadas en la duración de los parámetros de deterioro del flujo de video.

➤ *Medición usando el modelo de percepción humana*

Las técnicas de medición, que caen en esta categoría, intentan simular las características de los sistemas de la visión humana, para obtener puntuaciones que tienen un alto nivel de correlación con la evaluación que los observadores producen. Los métodos que modelan el sistema visual humano se explican a continuación:

- Referencia Total (FR): Este es un método donde la señal original y la señal recibida, están disponibles para determinar la calidad de video de forma objetiva.
- Referencia Reducida (RR): Este es un método donde parte de la señal original y la totalidad de la señal recibida están disponibles para determinar la calidad de video.
- Sin referencia (NR): En este caso solo la señal recibida se encuentra disponible para determinar la calidad de video objetiva. (3)

➤ *Medición directa de los parámetros del flujo de video*

En este método las características de la señal digital de video son usadas para comparar el flujo transmitido y el flujo recibido. Una forma de hacer esto es por la comparación imagen a imagen, y píxel por píxel de dos flujos de video y calcular el error medio cuadrático (MSE del inglés, *Mean Squared Error*), entre las dos. La diferencia entre dos secuencias, puede ser expresada, como la razón pico de la señal a ruido (PSNR del inglés, *Peak Signal to Noise Ratio*), la cual es calculada, como el logaritmo de la razón pico cuadrática al MSE, en forma similar a como se obtiene para los sistemas analógicos. El PSNR establece una medida de la diferencia entre dos flujos de video, sin embargo este método no toma en cuenta los parámetros importantes de la percepción humana, como se describió en la sección anterior.

➤ *Medición indirecta del flujo de video*

Este tipo de medición es importante para monitorear la calidad de video comprimido, desde el punto de vista del proveedor de servicios. Este método se aplica ya que no siempre es posible usar los métodos

de FR y RR, puesto que no siempre es posible, contar con la referencia, y con respecto al método NR, podría ser muy engorrosa su utilización. El método de medición indirecta, se basa en la medición de los parámetros de red, que pueden causar deterioro sobre la señal digital de video. Estos parámetros podrían ser por ejemplo: el tiempo de arribo de los paquetes, el retardo, el *jitter*, la duración del deterioro del flujo de video, el número de secuencia de paquetes del flujo de video, etc. (3)

2.3 Calidad de servicio y Calidad de experiencia

Estos dos conceptos fueron abordados en el capítulo uno de la presente investigación. Los mismos tienen un gran impacto en la calidad de video que pueda percibir el usuario, es por ello que estudiaremos estos dos conceptos con más profundidad.

Estos dos criterios son empleados de forma intercambiable y suelen ser confundidos entre sí, pero son dos conceptos separados. La calidad de experiencia muestra una medida del comportamiento del sistema desde el punto de vista del usuario, es decir, es una medida del nivel de servicio que recibe el usuario y una indicación de como el sistema responde a las necesidades del mismo. Ahora bien, la calidad de servicio es una medida del comportamiento del nivel de paquete desde la perspectiva de la red y también está referido a determinadas tecnologías, que posibilitan al administrador de la red, manejar los efectos de congestión en las aplicaciones, así como posibilitar servicio diferenciado a un flujo de tráfico seleccionado. Los parámetros a medir pueden incluir mediciones en la capa de red tal como pérdida de paquetes, retardo o *jitter*.

Para desplegar satisfactoriamente servicios IPTV es necesario disponer de QoS (del inglés, *Quality of Service*) para video, voz y datos. La QoS es un elemento de vital importancia en el desarrollo de todos los sistemas de comunicación y hoy en día es, sin duda, una pieza clave en las redes de datos. En el comienzo de las telecomunicaciones se crearon redes diferentes: una para transportar la voz, otra para la televisión y finalmente una para los datos. Cada una de estas redes fue diseñada con las características y requerimientos específicos del servicio que ofrecía. A mediados de los años 90 se introduce el término “convergencia de los servicios” con la idea de crear una sola red que fuera capaz de soportar la transmisión de voz, datos y video y esta fue la red de datos, o sea, la red IP. Sin embargo, con esta convergencia surgió un nuevo desafío pues el diseño actual de calidad en este tipo de red es el mecanismo basado en el “Mejor esfuerzo”. Este modelo no distingue los distintos tipos de información que viajan por la red y por tanto no tiene en cuenta los requerimientos específicos de cada paquete, de ahí que no garantiza la calidad de servicio necesaria.

La figura 2.1 define los dos puntos de vista de la QoS, la calidad experimentada por el usuario final o calidad de experiencia (QoE) y la QoS desde el punto de vista de la red. Desde la perspectiva del cliente final, la QoE es la percepción de la calidad que recibe el usuario y una indicación de cómo el sistema responde a las necesidades del mismo. Desde el punto de vista de la red, se refiere a las capacidades de la red para proporcionar la QoS percibida por el usuario y a las tecnologías que posibilitan al administrador manejar los efectos de congestión en las aplicaciones, así como posibilitar un servicio diferenciado a determinados flujos de tráfico. La QoS en sentido general puede ser afectada por factores como el retardo, variación del retardo, ancho de banda y la pérdida de paquetes. En la actualidad para mejorar la calidad de servicio en redes de datos coexisten dos estrategias fundamentales: *IntServ* y *DiffServ*. (13)

Figura 2. 1 Calidad de servicio (13)

- *Intserv* (del inglés, *Integrated Services*): Consiste en la reserva de recursos⁴ para uso exclusivo, también es conocido como carril autobús o *QoS hard*. En éste el usuario solicita de antemano los recursos que necesita y cada router del trayecto ha de tomar nota y efectuar la reserva solicitada.
- *DiffServ* (del inglés, *Differentiated Services*): Consiste en la asignación de prioridades a los paquetes que viajan por la red, también es denominado ambulancia o *QoS soft*. En éste el usuario marca los paquetes con una determinada etiqueta que define la prioridad y el trato que deben recibir por parte de los *routers*.

Cada una de estas soluciones tiene sus ventajas e inconvenientes. A continuación se señalan las mismas en la tabla 2.1. (13)

Tabla 2. 1 Comparación entre los mecanismos para lograr QoS.

	Ventajas	Inconvenientes
Intserv	Los paquetes no necesitan llevar ninguna marca que indique como han de ser tratados, la información la tienen los <i>routers</i> .	Requiere mantener información de estado sobre cada comunicación en todos los <i>routers</i> por los que pasa. Se requiere un protocolo de señalización para informar a los <i>routers</i> y efectuar la reserva en todo el trayecto.

⁴ Ancho de banda y buffer.

DiffServ	Los <i>routers</i> no necesitan conservar información de estado.	Los paquetes han de ir marcados con la prioridad que les corresponde. La garantía se basa en factores estadísticos, es menos segura que la reserva de recursos (puede haber <i>overbooking</i> ⁵).
-----------------	--	--

2.3.1 Dimensiones de QoE

Cuando se examina un entorno completo del servicio de televisión por difusión para IPTV, existen capas a considerar, las cuales se explican a continuación.

- Capa de Servicio: Esta es la capa expuesta al usuario, donde la calidad de experiencia es medida.
- Capa de Aplicación: Esta es la capa donde varios parámetros son establecidos, por ejemplo la resolución media, el tipo de códec, la razón de bits, los mecanismos de corrección de errores en la capa de aplicación, etc.
- Capa de Transporte: En esta capa pueden ocurrir varios deterioros del flujo de video, por ejemplo pérdidas, retardo, *jitter* y mecanismos de corrección de errores que pueden ser empleados. (3)

2.3.2 Arquitectura de la capa de servicio

A continuación se realiza una breve descripción de algunos de sus planos:

- Plano de control: El mismo es sensible a la interactividad, un ejemplo lo constituye el retardo en el cambio de canal.
- Plano de datos: Este plano está referido entre otras cosas a la calidad en las imágenes del flujo de video, lo cual contempla el impacto potencial de muchos puntos en el sistema, el deterioro de la imagen, el ruido visual, la pérdida de datos de la imagen, etc. Es objetivo además del mismo, valorar la calidad de audio y la utilidad de la Guía Electrónica de Programación (EPG). (8)

⁵ Sobre reserva.

2.3.3 Arquitectura de la capa de aplicación

A continuación se realiza una breve descripción de algunos de sus planos:

- Plano de Control: en este plano se contemplan aspectos tales como la rapidez de cambio de canal y la escalabilidad del sistema. Elementos como el tiempo de procesamiento de comandos del STB (del inglés, *Set Top Box*), el retardo del buffer del mismo y el retardo de decodificación del flujo de bit.
- Plano de Datos: está referido, al proceso de digitalización y compresión del video y de los diferentes parámetros seleccionados. Los sistemas de compresión están sujetos a pérdidas, debido a su propia estructura de codificación. Muchos factores pueden ser analizados como por ejemplo: la calidad en la fuente material, el tipo de códec utilizado, la resolución y la razón de bits, ya que por ejemplo en períodos de alta movilidad en las imágenes es necesario incrementar la razón de bits con la cual se transmite. Otro de los parámetros que se incluye en este plano, es la estructura de los GOP (del inglés, *Group of Picture*), por ejemplo una estructura de GOP pequeña, mejora la calidad, pero reduce la razón de bits de compresión, en cambio una larga cadena de GOP, maximiza la razón de compresión, pero incrementa el tiempo de cambio de canal y posibilita que más paquetes se puedan perder. Se puede citar como otro parámetro, el rango de búsqueda del vector de movimiento, por ejemplo altos rangos producen una mejor calidad de la imagen, pero incrementa la complejidad y el retardo del decodificador. (8)

2.3.4 Arquitectura de la capa de transporte

Una breve descripción de algunos de sus planos aparece en esta sección:

- Plano de control: este plano toma en cuenta el retardo producido, cuando el usuario se separa de un grupo multidifusión y se une a otro. Este retardo depende de varios factores, uno de ellos por ejemplo, puede ser la estructura del GOP en la codificación, ya que un GOP estándar, está formado por 15 imágenes, y si se considera una razón de imágenes de 20 cuadros por segundo, el tiempo de un GOP sería de 600 ms, por tanto mientras mayor sea el tamaño de este GOP, mayor será el tiempo de espera del nuevo canal. Esto se debe además, a que, para poder decodificar la señal de video correctamente, hay que esperar a que llegue al decodificador la nueva imagen I, que define el comienzo de un GOP.

- Plano de datos: los principales criterios del plano de datos incluyen los eventos de pérdida de paquetes, la distancia entre estos eventos de pérdidas, la latencia, y el *jitter*. El parámetro que más afecta a la calidad de video son las pérdidas, por ejemplo de la cabecera de los paquetes, o de las imágenes I o P fundamentalmente. Un error en una imagen I, por ejemplo afecta a las demás imágenes dentro del GOP, mientras que un error en una imagen B no se propaga a las siguientes imágenes dentro de un GOP. Otros parámetros que juegan un papel importante son: el tipo de códec utilizado, el proceso de paquetización y la razón de bits de codificación, puesto que a una mayor tasa de bits, las pérdidas son mayores.

En el anexo 2.a se ilustran los componentes de red que intervienen en la capa de aplicación y transporte.

Para aplicaciones de televisión por difusión, las variaciones del retardo (*jitter*), excepto en condiciones extremas, por ejemplo alta congestión, no es gran problema, puesto que existe un buffer en el STB del cliente, denominado buffer *de-jitter*. Este buffer *de-jitter* soporta regularmente retardos entre los paquetes, de 100 y 500 milisegundos. Sin embargo la calidad se degrada severamente con la pérdida de paquetes.

2.4 Parámetros para medir la calidad de video

Existen diversos parámetros que se utilizan para medir la calidad de video, obteniendo con ellos información valiosa para mantener altos porcentajes en la calidad de video. Existen disímiles software que se encargan del monitoreo de la red, su trabajo está enfocado en mantener constante los valores de algunos parámetros que pueden influir en el deterioro de la señal. A continuación se describen los parámetros generales:

- | | |
|------------------------|--|
| a) Latencia o Retardo | g) Formato de cromaticidad |
| b) Jitter | h) Cantidad de cuadros por segundo |
| c) Pérdida de paquetes | i) Máxima cantidad de bits por segundo |
| d) Razón de aspecto | j) Razón de compresión |
| e) Resolución de video | k) Tamaño de los bloques |
| f) Perfil y Nivel | l) Aspecto temporal o variación espacial |

2.4.1 Latencia o Retardo

La descripción se realizó en la sección 1.8.3 del capítulo anterior, agregar que como en todos los parámetros que miden un retardo, cuanto menor sea, mejor será la calidad del servicio ofrecido.

2.4.2 Jitter

Este parámetro fue descrito en la sección 1.8.4 del presente trabajo.

2.4.3 Pérdida de paquetes

Consiste en la pérdida de la información que se transmite a través de la red. La señal de video es muy sensible a la pérdida de paquetes, dependiendo además del tipo de datos que se pierden. Por ejemplo, la pérdida de una imagen I o de una imagen P produce una pérdida de calidad de imagen mayor y por mayor tiempo que la pérdida de una imagen B.

La pérdida de paquetes se mide a través del campo número de secuencia de la cabecera RTP (del inglés, *Real-time Transport Protocol*). El mismo, enumera secuencialmente cada uno de los paquetes que serán transmitidos.

2.4.4 Razón de aspecto

La razón de aspecto, es la relación que existe, entre el tamaño horizontal y el tamaño vertical de la imagen de video. Comúnmente esta relación es 4:3 o 16:9, en los televisores actuales, pero para el caso de IPTV, en el formato estándar de televisión, se debe transmitir en la relación 4:3. La figura 2.2 muestra estas dos relaciones de aspecto.

Figura 2. 2 Relaciones de aspecto (2)

2.4.5 Resolución del video

El tamaño de la imagen está formado por dos elementos, el tamaño horizontal y el tamaño vertical, o sea, está referido a la cantidad de píxeles horizontales por línea que se pueden mostrar en la pantalla. Para la HDTV los formatos más conocidos son 1920 x 1080, 1280 x 720 y 1408 x 1152 píxeles.

2.4.6 Perfil y Nivel

Los estándares de compresión utilizan niveles y perfiles para lograr una mayor eficiencia en la compresión. Al combinar un perfil y un nivel se logra la adaptación a las diferentes necesidades de los usuarios.

2.4.7 Formato de cromaticidad

Este concepto se refiere, a la relación que existe entre los valores de las componentes de luminancia (Y) y cromaticidad (Cr Cb) de los píxeles que conforman una imagen. Para un flujo de video IPTV, esta relación debe ser 4:2:0. Esto indica, que cada macrobloque, está compuesto por 6 bloques, 4 de ellos son componentes de luminancia y los otros dos son componentes de cromaticidad, una para el color azul y la otra para el color rojo.

La figura 2.3 muestra los principales tipos de formatos de cromaticidad que se utilizan en la televisión digital.

Figura 2. 3 Principales formatos de cromaticidad

2.4.8 Cantidad de cuadros por segundo

La cantidad de imágenes por segundo o simplemente cuadros por segundo, es otro de los parámetros que se debe monitorizar, puesto que puede variar para las distintas normas de televisión (ejemplo: NTSC y PAL).

2.4.9 Máxima cantidad de bits por segundo

La máxima cantidad de bits por segundo o simplemente razón de bits, es uno de los parámetros más importantes que debe ser monitorizado para cualquier sistema multimedia en tiempo real. A través de este parámetro, es posible determinar el ancho de banda que está siendo utilizado por la aplicación y los requerimientos mínimos para obtener una buena calidad de la imagen.

En la mayoría de los estándares de codificación se puede seleccionar la razón de bits que se va a ejecutar, esta puede ser en modo CBR (Razón de Bit Constante) o VBR (Razón de Bit Variable). El modo preferido es normalmente CBR, dado que este modo consume un ancho de banda constante en la transmisión. La desventaja es que la calidad de la imagen varía y, aunque se mantiene relativamente alta cuando no hay movimiento en la escena, ésta baja significativamente cuando aumenta el movimiento. El modo VBR, por otra parte, mantiene una alta calidad de imagen sin tener en cuenta si hay movimiento o no en la escena. Esto es a menudo deseable en aplicaciones en las que hay la necesidad de una alta calidad, tal es el caso de IPTV. (11)

2.4.10 Razón de compresión

La razón de compresión expresa la efectividad del códec a través de una relación entre las imágenes I, y las imágenes B y P. El cálculo se realiza como se muestra en la siguiente expresión:

$$CR = \frac{I}{(I + B + P)}$$

Donde I, B, P, se refieren al total de imágenes de cada tipo para un tiempo de 10 segundos. Un valor mayor a la unidad, muestra que existe poca compresión, mientras que cercano a cero, evidencia una mayor compresión de las imágenes. (3)

2.4.11 Tamaño de los bloques

Para que la calidad del video sea óptima, todos los bloques deben de ser de igual tamaño. Para el caso de codificación en MPEG-2, los mismos tienen dimensiones de 8 x 8 píxeles. Este parámetro se obtiene de la cabecera de los macrobloques.

2.4.12 Aspecto temporal o variación espacial

Un video con poco aspecto temporal entre cuadros es más robusto frente a las pérdidas y a la variación del retardo, en el sentido de que al usuario le es más difícil notar la falta o retardo de la información. Por el contrario, aquellos videos con alta variación espacial entre cuadros (aquellos videos donde hay gran cantidad de movimiento) son muy sensibles ante estos factores.

2.5 Características del estándar AVS

En la codificación de una imagen, la selección de los modos entrelazados o de los modos progresivos convencionales puede realizarse en cada macrobloque de forma individual. Con ello se pueden obtener grandes beneficios en cuanto al factor de compresión se refiere, con el uso de técnicas progresivas en aquellas zonas de la imagen que permanecen estacionarias, mientras que en regiones con elevado movimiento horizontal se pueden utilizar los modos entrelazados.

Un macrobloque convencional de 16x16 píxeles se descompone en 4 bloques de 8x8 píxeles tomando los píxeles adyacentes como se muestra en la figura 2.4. Un macrobloque entrelazado también se descompone en 4 bloques de 8x8 píxeles, pero ahora los bloques se toman utilizando líneas alternadas, es decir, en un macrobloque entrelazado, los bloques están formados por líneas que

corresponden siempre al mismo campo mientras que en un macrobloque convencional las líneas se van alternando entre los dos campos.

Figura 2. 4 División en bloques de un macrobloque para imágenes progresivas y entrelazadas (2)

2.5.1 Formatos de escaneo de los datos

AVS proporciona herramientas de codificación para los formatos de escaneo entrelazado y progresivo. El formato progresivo es directamente compatible con todo el contenido que se origina en el cine, y puede aceptar entradas directamente progresivas de las máquinas de tele-cine. Una ventaja importante del formato progresivo es la eficiencia con que opera la estimación de movimiento. La compensación de movimiento en la codificación de datos con formato progresivo es significativamente menos compleja que la codificación de datos entrelazados. Se trata de un componente importante de reducción de la complejidad en la codificación de AVS. Por otro lado, para el formato de exploración entrelazada, están previstas herramientas que ofrecen una codificación semejante a los formatos convencionales de video entrelazado.

2.5.2 Formato de imagen

AVS se centra principalmente en las aplicaciones de televisión abierta haciendo énfasis en la televisión de alta definición y por lo tanto utiliza principalmente el formato de 1920 x 1080 píxeles. Sin embargo AVS es un estándar genérico y puede codificar imágenes con una forma rectangular de formato de hasta 16K por 16K píxeles de tamaño. Los píxeles son codificados en formato de luminancia - crominancia (YCrCb) y cada componente puede tener una precisión de hasta 8 bits.

AVS soporta un amplio rango de velocidades de fotogramas de uso común en diferentes normas televisivas, soportando 4:2:0 y 4:2:2 formatos de crominancia. La cromaticidad es definida por las normas internacionales.

2.5.3 Estructura de capas

AVS se basa en una estructura de datos en capas que representan los datos de video tradicional. Esta estructura se refleja en el flujo de bits de video codificados. La figura 2.5 ilustra esta estructura en capas. (14)

Figura 2. 5 AVS estructura de datos en capas

La secuencia de video es la combinación de un código de inicio, seguido por un encabezamiento, y terminando con un código final. Los códigos de soporte adicional pueden ser situados al inicio de la

secuencia. En la secuencia de soporte se especifica el tamaño horizontal y vertical de la imagen, la tasa de imágenes, si se usa un barrido progresivo o entrelazado, perfil, nivel, velocidad de transferencia de bits, y cuales matrices de cuantificación se usan para codificar imágenes espaciales y temporales. Sin la secuencia de soporte de datos, un decodificador no puede comprender el flujo de bits y por lo tanto no puede comenzar la operación de decodificación correcta. La figura 2.5 ilustra la estructura de las capas que componen el estándar AVS.

En la capa más alta, los conjuntos de imágenes se combinan y conforman una secuencia, también conocida como GOP (del inglés, *Group of Picture*). La secuencia ofrece la oportunidad a los decodificadores de descargar juegos de parámetros. Los fotogramas de video que incluyen la siguiente capa, se denominan imágenes. AVS define tres tipos de imágenes, las imágenes I (*intra*), las imágenes P (predictivas) y las imágenes B (bidireccionales), las cuales se explicarán detalladamente más adelante. Estas imágenes pueden ser divididas opcionalmente en regiones rectangulares llamadas *Slice*. Los *slice* se subdividen en regiones de píxeles cuadrados llamados macrobloques. Estos son las unidades fundamentales utilizadas en la codificación por AVS y comprende un conjunto de bloques de luminancia y crominancia de píxeles que cubre la misma región de la imagen.

2.5.4 Secuencia

La capa de secuencia, de imágenes y *slice* comienzan con unos códigos de inicio únicos, que permiten al analizador del decodificador encontrar dentro del flujo de bits. Un ejemplo de la secuencia de imágenes se muestra en la figura 2.6. (14)

Figura 2. 6 Ejemplo de secuencia de video

La capa de secuencia incluye una serie de parámetros obligatorios y opcionales del sistema codificado. Los parámetros obligatorios son necesarios para inicializar el sistema de decodificación. Los parámetros opcionales pueden ser utilizados para otros ajustes del sistema, beneficiando al proveedor de red. Además, los datos del usuario pueden incluirse opcionalmente en la cabecera de la secuencia. La capa de secuencia proporciona un punto de entrada en el video codificado. La cabecera de la secuencia debe ser colocada en el flujo de bits y se terminan con un código de secuencia final.

2.5.5 Imagen

La capa de imagen ofrece la representación codificada de un fotograma de video. Cuenta con un encabezado con parámetros obligatorios y optativos y, opcionalmente, con los datos del usuario.

- Las imágenes I

Las imágenes I o *intra* constituyen la entrada para el que el decodificador inicie su proceso, las cuales no necesitan de información adicional para ser enviadas y decodificadas, es decir, que su tasa de compresión no es muy elevada debido al tipo de codificación que emplean. Las imágenes intra que especifica el estándar AVS utilizan una compresión parecida a la empleada en los estándares JPEG, donde su reconstrucción es rápida porque constituyen el punto de entrada a la secuencia de video. Su principal diferencia se encuentra en las tablas de cuantificación y en la aplicación de la DCT a los píxeles, las cuales reducen mucho su tasa de compresión. Específicamente este estándar utiliza la codificación LZW⁶ en el proceso de codificación de dichas imágenes, donde las tablas de códigos se generan dinámicamente facilitando luego la descompresión.

- Las imágenes P

Las imágenes P o predictivas, son codificadas teniendo en cuenta las imágenes I o P anteriores, es decir, que dependen de otras imágenes para ser codificadas y utilizan la predicción inter. En las imágenes P se introducen las técnicas de predicción con compensación de movimiento manejándose conceptos como los llamados vectores de movimientos, que suponen una mejoría notable en cuanto al factor de compresión, necesitando aproximadamente la mitad de los datos de las imágenes I para el proceso de codificación/decodificación.

- Las imágenes B

Las imágenes B o bidireccionales realizan una codificación muy parecida a la de las imágenes P, pero su proceso es más complejo, debido esto, a que hacen referencia a las imágenes que le preceden y suceden. También utilizan la compensación de movimiento, pero en este caso emplea vectores de movimiento hacia atrás (*backward*) y hacia adelante (*forward*), es por esto que presentan la mayor tasa de compresión con respecto a las otras dos imágenes que define el estándar AVS.

2.5.6 Slice

La estructura de *slice* proporciona la capa más baja del mecanismo para volver a sincronizar el flujo de bits en el caso de error de transmisión. Los *slice* implicarán números arbitrarios de tramas ordenados en filas de macrobloques como se ilustra en la figura 2.7. Los *slice* deberán ser contiguos, deben

⁶ Esta codificación fue introducida por Lemple y Ziv y posteriormente mejorada por Welch.

representar una fila horizontal que está ordenada de izquierda a derecha y no deben superponerse. Es posible que un solo *slice* pueda cubrir toda la imagen. La estructura es opcional. Los *slice* están en un código independiente (un *slice* no puede hacer referencia a otro durante el proceso de decodificación). (14)

Figura 2. 7 Ejemplo de *slice*

2.5.7 **Macrobloque**

Un macrobloque incluye la componente de los píxeles de luminancia y crominancia, que en conjunto representan una región de 16 x 16 píxeles de la imagen. En un formato de codificación 4:2:0, cada macrobloque tendrá 4 bloques Y, y dos bloques de color diferente. Para hacer posible la identificación de cada bloque y sus componentes, estos se envían en un orden específico. En modo 4:2:2, los píxeles de crominancia se submuestran en un factor de dos en la dimensión horizontal, por lo que cada componente de crominancia consta de dos bloques de 8 x 8 píxeles. Esto se ilustra en la figura 2.8. (10)

Figura 2. 8 Formato de macrobloque

La capa de macrobloque es la unidad primaria de AVS. El encabezado contiene información del macrobloque sobre el modo de codificación y el movimiento de vectores. Opcionalmente puede contener el parámetro de cuantificación.

2.5.8 **Bloque**

El bloque es la unidad cifrada más baja y está representada por un bloque de coeficientes derivados del proceso de la aplicación de la transformada, los cuales representan datos de luminancia y crominancia. AVS define un tamaño de bloque de 8 x 8 píxeles y es la unidad básica de codificación del AVS.

2.6 **Descripción general del AVS1-P2**

Al igual que los estándares MPEG, el estándar AVS también se compone de varias partes que fueron presentadas en la tabla 2.1. Específicamente para el tratamiento del video, el estándar de codificación AVS incluye dos partes. Una de las partes es la parte 2, llamada AVS1-P2, que está enfocada al tratamiento de altas resoluciones, a la codificación de aplicaciones con alta tasa de bits, tales como la radiodifusión. La otra parte es la 7, llamada AVS1-P7, está dirigida a la baja resolución, codificación de aplicaciones de baja tasa de bits, así como para transmisión y comunicación multimedia inalámbrica.

AVS1-P2 se ha lanzado como una norma nacional, pero el AVS1-P7 sigue siendo objeto de revisión.
(10)

El AVS1-P2 está compuesto por dos capas fundamentales, una es la capa de la de abstracción red (NAL, del inglés *Network Abstraction Layer*) y la otra es la capa de codificación del video (VCL, del inglés *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 *byte-stream* o de paquetes. El formato de paquetes, define paquetes de datos identificables por protocolos de transporte para aplicaciones de RTP/UDP/IP. La capa VCL constituye el núcleo de los datos codificados, ésta es la encargada de codificar la secuencia de video que será enviada.

La redundancia temporal se elimina por la compensación de movimiento, la redundancia espacial es eliminada primeramente por la predicción espacial, y finalmente por la codificación de la transformada. La redundancia estadística se elimina por la codificación de la entropía.

Estas herramientas básicas de codificación, son complementadas por un conjunto de herramientas de codificación de menor complejidad que eliminan cualquier resto de redundancia, el código de información secundario es codificado de manera eficiente y así proporcionan la sintaxis del flujo de bits codificados. El algoritmo es altamente adaptable, ya que las estadísticas de los datos de video no son estacionarias y porque la codificación de percepción también se utiliza para maximizar la calidad percibida.

2.6.1 Arquitectura del sistema

AVS1-P2 es un sistema de codificación híbrido basado en la predicción espacial y temporal, transformación de enteros y codificación de la entropía. La arquitectura del sistema AVS se ilustra en la figura 2.9 (15). Se presenta el diagrama ampliado en bloque del codificador AVS, véase [Anexo 2.b].

Figura 2. 9 Codificador AVS

El codificador que se muestra en la figura 2.9 acepta la entrada de la señal de video y la almacena como una secuencia de imágenes en un buffer. Este buffer proporciona el almacenamiento que se requiere para realizar el proceso de estimación de movimiento. La unidad de estimación de

movimiento puede aceptar imágenes originales en la entrada del buffer o reconstituirlas de acuerdo a la codificación que se haya utilizado, tomando la imagen de referencia hacia atrás o hacia delante según la referencia empleada en el codificador.

La estimación de movimiento produce vectores de movimiento, que son utilizados por la unidad de compensación de movimiento para producir una predicción hacia adelante o interpolada para la imagen actual. Los vectores de movimiento son codificados para su transmisión por primera vez por un codificador predictivo, y luego mediante la codificación de la entropía.

La predicción producida por la unidad de compensación de movimiento se resta de la imagen actual y de la diferencia de la señal, es decir, el error de predicción, es codificado por la DCT y las unidades de cuantificación. En el caso de macrobloques que hayan sido intra codificados, los datos pasan a través del proceso de predicción dentro de la DCT. La señal es codificada entonces por el VLC, el formato con los vectores de movimiento y otras informaciones se almacenan temporalmente en un buffer de memoria intermedia. La señal también es decodificada por el cuantificador inverso y la inversa de la DCT, y se almacena en el buffer de imágenes hacia delante o hacia atrás, para su posterior uso en compensación de movimiento. El buffer es controlado mediante una realimentación por el cuantificador, para evitar un desbordamiento del mismo. Una unidad de decisión selecciona el modo de compensación de movimiento que será empleado.

El decodificador se muestra en la figura 2.10, este acepta el flujo de bits a una tasa constante de transmisión y la almacena temporalmente en un buffer. Los datos se leen a un ritmo que exige la decodificación de cada macrobloque y de cada imagen. La señal se analiza para separar el parámetro de cuantificación, los vectores de movimiento y la información de los datos que fueron codificados. La señal es decodificada por el cuantificador inverso y se le aplica la inversa DCT, para reconstruir el error de predicción o los datos codificados.

Los vectores de movimiento son decodificados, reconstruidos y usados por la unidad de compensación de movimiento para producir una predicción para la imagen actual. A esto se le añade el error de predicción reconstruido para producir la señal de salida. En el caso de macrobloques *intra* codificados, los datos pasan por la DCT a través del proceso de predicción intra. Se muestra un

diagrama en bloques del decodificador AVS1-P2, a nivel de imagen, véase [anexo 2.c] y a nivel de macrobloques (16), véase [anexo 2.d].

Figura 2. 10 Decodificador AVS1-P2 (16)

2.6.2 Herramientas de codificación

Las principales herramientas utilizadas por el codificador AVS1-P2 se resumen en la tabla 2.2 y son explicadas posteriormente.

Tabla 2. 2 Principales herramientas de codificación

Herramientas de Codificación	Características
Predicción <i>intra</i>	Basado en 8x8 píxeles con 5 modos para la luminancia y 4 modos para la crominancia.
Predicción <i>inter</i>	Incluyen modos 16x16, 16x8, 8x16 y 8x8 píxeles con 2 marcos de referencia en la mayoría.
Transformada	Basada en la transformada de enteros de 8x8 píxeles con pre-escala.
Codificación de la entropía	CA-2D-VLC
Desbloqueo	Para límites de bloques de 8x8 píxeles, filtro circular.

2.6.2.1 Predicción *intra*

El AVS1-P2 introduce el concepto de predicción *intra* para realizar la codificación de los bloques y macrobloques de referencia, logrando reducir con ello la cantidad de bits codificados. Para llevar a cabo esta codificación se forma un bloque de predicción dentro de la misma imagen, teniendo en cuenta que esta imagen no se haya filtrado antes. Luego, se codifica el residuo de la señal entre el bloque actual y la predicción realizada del mismo, disminuyendo la cantidad de bits con la que se representará el bloque actual. Para el caso de los bloques de luminancia y crominancia la predicción

se realiza con un tamaño de 8 x 8 muestras. Para cada bloque de luminancia de 8 x 8, se selecciona un modo de predicción de cinco modos existentes y en el caso de los bloques de crominancia se elige un modo de cuatro que han sido definidos en este estándar. En la figura 2.11 se muestran la dirección de estos modos.

Figura 2. 11 Modos de Predicción Intra. (17)

2.6.2.2 Predicción inter

En este tipo de predicción la imagen de referencia se puede dividir en bloques más pequeños, en dependencia de lo que estime el codificador. En AVS1-P2 se especifican dos tipos de imágenes que utilizan este tipo de predicción, las imágenes B y las imágenes P. Para realizar esta predicción el estándar define un tamaño variable para los macrobloques, que pueden ser de tamaños 16x16, 16x8, 8x16 y 8x8 píxeles. La predicción inter ayuda a reducir la redundancia o correlación temporal.

2.6.2.3 Transformada de enteros del coseno (ICT)

AVS1-P2 utiliza la transformada de enteros del coseno (ICT, del inglés *Integer Cosine Transform*), que es una aproximación de la DCT. Esto puede implementarse exclusivamente con la aritmética de enteros, con muchas ventajas asociadas al costo y a la rapidez de la codificación en implementaciones de hardware. Se aplica con un tamaño genérico de 8x8 píxeles.

2.6.2.4 Cuantificación

La cuantificación de los coeficientes de la transformada se realiza con un cuantificador lineal adaptativo. El tamaño del paso del cuantificador puede variarse para proporcionar un mayor control de la frecuencia. En la operación de *bitrate* constante, este mecanismo se utiliza para evitar un desbordamiento del buffer. El parámetro de cuantificación tamaño de paso de transmisión se utiliza directamente para los coeficientes de luminancia. Para los coeficientes de crominancia se modifica el extremo superior de su rango. El parámetro de cuantificación, opcionalmente, puede ser fijado para una imagen completa o una porción de ella. Si no se soluciona, puede ser actualizada diferencialmente en cada macrobloque. El proceso de cuantificación lineal es modificado para trabajar en conjunto con la transformada, a fin de proporcionarle al codificador una menor complejidad de sus algoritmos.

2.6.2.5 Codificación de la entropía

En AVS1-P2, los coeficientes cuantificados se codifican mediante una eficiente codificación de la entropía basada en el contexto 2D-VLC, que está diseñada para la codificación de bloques de tamaño 8x8 píxeles de los coeficientes transformados. 2D-VLC significa que un par de nivel de ejecución se considera como un evento y son codificados de manera conjunta. Basada en el contexto es una técnica, que utiliza la información del coeficiente para cambiar entre diferentes tablas VLC. Con estas combinaciones se puede lograr un alto rendimiento con el costo de complejidad relativamente bajo.

(14)

2.6.2.6 Filtro de desbloqueo

El filtro de desbloqueo o bucle es un filtro no lineal, que remueve la distorsión producto de la cuantificación en los bordes de los bloques. 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 cuantifican utilizando diferentes cuantificadores, los cuales introducen distorsión o artefactos indeseables alrededor de los bloques reconstruidos. En estándares anteriores, el filtro de desbloqueo era sólo una recomendación (opcional) del estándar, en el AVS1-P2, el filtro de desbloqueo es parte obligatoria del mismo. El filtro utilizado en el AVS1-P2, reduce la distorsión en los bordes del bloque y evita que el ruido acumulado debido a la codificación se propague. (18)

2.6.3 Perfil y Nivel

El AVS1-P2 proporciona una gran flexibilidad en lo que se refiere a tamaños de imagen que pueden tratarse, frecuencias de muestreo de imagen, complejidad de los algoritmos, tasas de bits y anchos de banda del flujo de señal, etc. Todo ello indica que no tiene sentido que una aplicación sencilla deba soportar los costes de procesamiento y tratamiento de señal que sólo se requieren para tratar las imágenes más complejas. Por ello, se definen un conjunto de grupos de compatibilidad distintos que deben cumplir los distintos codificadores y decodificadores en función de la aplicación a la que estén orientados.

AVS1-P2 ha definido un solo perfil que contenga todas las herramientas de codificación AVS. Es denominado Perfil *Jizhun* (Base de referencia). En la tabla 2.3 se muestran los niveles que han sido definidos para el perfil *Jizhun*. (18)

Tabla 2. 3 Niveles del perfil principal del AVS1-P2

Niveles	Aplicación	Formato de Cromaticidad
4.0	SDTV	4:2:0
4.2	SDTV	4:2:2
6.0	HDTV	4:2:0
6.2	HDTV	4:2:2

2.7 Análisis de la capa de abstracción de red (NAL) para AVS

La capa de abstracción de red NAL (del inglés, *Network Abstraction Layer*) provee de un formato a la representación de la capa de codificación de video y produce la información de cabecera de una manera apropiada para posibilitar el transporte por la red o el almacenamiento.

La secuencia de video para AVS-P2 se asigna en la corriente de la unidad NAL. Una unidad NAL contiene una cabecera y una porción de carga útil denominada RBSP (Carga útil de Secuencia de Bytes en Bruto), como se ilustra en la figura 2.12. Los datos que se encuentran entre dos encabezados NAL consecutivos se consideran como RBSP (incluyendo el valor de inicio de código). (19)

Figura 2. 12 Secuencia de unidades NAL

La sintaxis y la semántica de la unidad NAL se muestran en la tabla 2.4. (19)

Tabla 2. 4 Sintaxis y semántica de la unidad NAL

nal_unit (NumBytesInNALunit) {	descriptor
forbidden_zero_bit	f(1)
nal_ref_idc	u(2)
nal_unit_type	u(5)
for (i = 0; i < NumBytesInNALunit-1; i++) {	
rbsp_byte[i]	b(8)

}	
}	

- *forbidden_zero_bit*

Su valor debe ser cero.

- *nal_ref_idc*

Compuesto por 2 bits enteros sin signo. Si no es cero significa que los datos que figuran en esta unidad NAL son de la secuencia de encabezado; si es cero, los datos que figuran en esta unidad NAL no son un dato de referencia del marco. Para la unidad NAL de la cabecera de secuencia, *nal_ref_idc* no debería ser 0. Para un cierto marco, si *nal_ref_idc* es 0, entonces *nal_ref_idc* de todas las unidades NAL del mismo marco será 0. El *Nal_ref_idc* de un marco I no puede ser cero.

- *nal_unit_type*

Contiene 5 bits enteros sin signo. Define el tipo de estructura de datos RBSP en una unidad NAL de acuerdo al valor de inicio de código seguido de la información contenida en el encabezado de imagen.

- *rbsp_byte*

Un byte que pueden tomar cualquier valor.

La tabla 2.5 muestra los diferentes tipos de RBSP con sus parámetros y funciones que lo describen.
(19)

Tabla 2. 5 Tipos de RBSP

<i>nal_unit_type</i>	<i>NAL Type</i>	<i>Razón de relleno</i>
0	Reservado	
1	Cabecera de secuencia	El valor del código de inicio es B0
2	Extensión de video	El valor del código de inicio es B5

3	Datos del usuario	El valor del código de inicio es B2
4	Edición de video	El valor del código de inicio es B7
5	Cabecera de imagen para marco I	El valor del código de inicio es B3
6	Cabecera de imagen para marco P	El valor del código de inicio es B6, y el modo de codificación en el encabezado de imagen es 01
7	Cabecera de imagen para marco B	El valor del código de inicio es B6, y el modo de codificación en el encabezado de imagen es 10
8	<i>Slice</i> de imagen I	El valor del código de inicio es 00 ~ FA, y el valor del código de la cabecera de imagen es B3
9	<i>Slice</i> de imagen P	El valor del código de inicio es 00 ~ FA, el valor del código de la cabecera de imagen es B6, y el modo de codificación en el encabezado de imagen es 01
10	<i>Slice</i> de imagen B	El valor del código de inicio es 00 ~ FA, el valor del código de la cabecera de imagen es B6, y el modo de codificación en el encabezado de imagen es 10
11-23	Reservado	
24-31	Sin definir	

2.8 AVS1-P2 vs H.264

Hasta el momento, AVS1-P2 se ha lanzado como una norma nacional. En la figura 2.13 se muestra un diagrama con las similitudes en la arquitectura de codificación de los estándares AVS y H.264. En el

proceso de codificación, a cada macrobloque de entrada se le aplica una predicción intra. Después de la predicción, el residuo se transforma en coeficientes cuantificados. A continuación, los coeficientes cuantificados son codificados con un codificador de la entropía. Al mismo tiempo, los coeficientes cuantificados se procesan con cuantificación inversa y transformada inversa para producir el error de predicción reconstruido, y una vez reconstruido el error de predicción y la predicción de la muestra, se suman para obtener la reconstrucción de la imagen. La imagen reconstruida se filtra y se envía a la memoria de video.

Aunque AVS tiene el mismo marco que H.264, la complejidad de AVS es reducida en comparación con H.264. En la aplicación de software y hardware, la estimación de la complejidad para AVS1-P2, es que H.264 y sus principales herramientas de codificación y decodificación, son 1,5 veces más complejas que las de AVS1-P2. La reducción de la complejidad de AVS1-P2 se basa principalmente en la predicción intra, la interpolación, el filtrado de bucle y la codificación de la entropía. (10)

Figura 2. 13 Arquitectura similar entre el codificador AVS y el H.264 (10)

Según los datos estadísticos, las dos operaciones más complejas en un decodificador, son la interpolación y el filtrado de bucle. Por interpolación en AVS1-P2, el cálculo de la distribución espacial es menor en un 11% con respecto a los cálculos que realiza el H.264, lo que es muy importante para la alta definición de codificación. Para el filtrado de bucle, el factor más importante es el cálculo de los límites y el número de aristas que deben ser filtradas. En AVS1-P2, el número de aristas para ser filtradas, se reduce considerablemente, ya que el filtro está basado en bloques de un tamaño de 8x8 píxeles, mientras que H.264 está basado en bloques de 4x4 píxeles. Además de interpolación y filtrado de bucle, la complejidad de la predicción intra y la codificación de la entropía también se reduce significativamente en AVS1-P2, el número de modos de predicción se reduce considerablemente. Para la codificación de la entropía, la codificación 2D-VLC en AVS es mucho más simple que CABAC en H.264, especialmente para el diseño de hardware. Además, la complejidad de predicción de AVS también se reduce significativamente. El tamaño de bloque más pequeño que se utiliza en AVS es de 8x8 píxeles. En AVS1-P2, sólo hay un perfil definido ahora, el nombre del perfil es *Jizhun*, y un perfil de mejora (X-Perfil) de AVS1-P2 está todavía en desarrollo. Hay cuatro niveles de perfil *Jizhun*. En cada nivel se especifican los límites máximos para el tamaño de la imagen, la máxima tasa de bits de video, el tamaño del buffer, etc. La tabla 2.6 muestra una comparación del perfil *Jizhun* del AVS1-P2 y el

perfil principal del H.264. El perfil *Jizhun* del AVS1-P2 muestra un rendimiento comparable con H.264, pero la complejidad de AVS es mucho menor que la de H.264. (10)

Tabla 2. 6 Comparación entre el AVS1-P2 y el H.264

Herramientas de codificación	AVS1-P2 (Perfil <i>Jizhun</i>)	H.264 (Perfil Principal)
Tipo de Imagen	I,P y B	I, P, B,SI y SP
Manejo del entrelazado	PAFF	PAFF y MBAFF
Formato de cromaticidad	4:2:0 y 4:2:2	4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4
Bits por muestra	8	hasta 12
Tamaño de bloque para la predicción intra	8x8 para la luminancia y crominancia	4x4, 8x8 y 16x16 para la luminancia y 8x8 para la crominancia
Modos de predicción intra	5 modos luminancia y 4 modos crominancia	13 modos luminancia y 4 modos crominancia
Número de marco de referencia	Más de 2	Depende de los niveles pueden ser mucho más de 2
Predicción Bi-direccional	Más de 1 vector de movimiento	Más de 2 vectores de movimiento
Predicción del vector de movimiento	Predicción media geométrica	Predicción media
Interpolación	4 tap filtros de $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ pixel	6 tap filtros de $\frac{1}{2}$ pixel 2 tap filtros de $\frac{1}{4}$ pixel
Tamaño del bloque mínimo	8x8 píxeles	4x4 píxeles

Transformar	8x8 pre escala ICT	4x4 y 8x8 ICT
Cuantificación	Casi 64 parámetros de cuantificación con un orden periódico exponencial de 8	52 parámetros de cuantificación con un orden periódico exponencial de 6
Codificación de la entropía	2D-VLC	CAVLC y CABAC
Filtros de desbloqueo	Basado en 8x8 y 3 niveles de BS	Basado en 4x4 y 4 niveles de BS
Apoyo a la codificación sin pérdida	No	Si
Escaneo Adaptativo	Si	No

2.9 Conclusiones

Este capítulo hizo referencia a los principales elementos y conceptos que involucran la calidad de la señal digital. Se profundizó en conceptos como la calidad de servicio y de experiencia, analizando el impacto que tienen los mismos en la calidad de la señal de video. Se realizó una descripción de los principales parámetros que existen para medir la calidad de video, con el objetivo de conocer la diversidad de parámetros que existen para evaluar una señal digital. Además, se describió con profundidad el funcionamiento del estándar AVS, haciendo especial énfasis en el AVS1-P2 y su sistema de codificación y decodificación. La importancia de todo este estudio, radica en contar con un volumen de información suficiente para enfrentar el análisis de los posibles parámetros, que logren medir la calidad de video objetivo en redes IPTV que utilicen el sistema de codificación AVS, que es el objetivo del capítulo 3.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE VIDEO EN AVS

3.1 Introducción

En este capítulo se presenta la propuesta de los parámetros para medir la calidad de video en sistemas IPTV que utilicen el estándar de codificación AVS. Por último y con el fin de demostrar la calidad y efectividad del trabajo, se describe la validación de la propuesta a través del método de Expertos; además de plantearse una guía para llevar a cabo dicha validación.

3.2 Propuesta de parámetros para la medición de la calidad de video que se obtienen a través de la trama de transporte para el AVS.

El estándar AVS no describe un sistema de transporte específico para la transmisión de audio y video. Los sistemas IPTV que están en funcionamiento actualmente en la República Popular China, prestan sus servicios utilizando la trama de transporte genérica, que fue introducida por primera vez en la especificación del sistema MPEG-2.

Existen muchos campos de la trama de transporte que pueden ser analizados por cualquier herramienta de monitoreo de una red IP, lo esencial es determinar un conjunto de parámetros que sean capaces de evaluar la calidad del video transmitido por la red.

Para lograr este objetivo nos concentramos en los parámetros que son analizados por la herramienta *FreeProbe* para la trama de transporte del MPEG-2, los cambios están dados por la información que se obtiene luego de la codificación realizada utilizando el estándar AVS, encontrando valores que se corresponden con la arquitectura que propone la codificación AVS1-P2.

Para la evaluación de la calidad de video, el *FreeProbe* utiliza algunos parámetros que se localizan en la cabecera de los paquetes y que a través de ellos, es posible estimar la calidad de la señal digital de video que llega al cliente en cualquier parte de la red. Los parámetros se mencionan a continuación:
(3)

- Pérdida de sincronismo (SL)

- Contador de Continuidad (CC)
- Tabla de Asociación de Programas (PAT)
- Tabla de Mapeo de Programas (PMT)
- Referencia de Reloj para los Programas (PCR)
- Error de Transporte (TE)
- Tablas de Información de Red (NIT)
- Tablas de Descripción de Servicios (SDT)
- Código de Redundancia Cíclica (CRC)
- Error en la disponibilidad del servicio (SAE)
- Error en la degradación del servicio (SDE)
- Deterioro del servicio (SIE)

Estos parámetros forman parte del monitoreo básico y son imprescindibles para la correcta decodificación de la señal de video, además que deben ser monitorizados periódicamente, para garantizar una buena calidad de experiencia al usuario. A continuación se propone la descripción y los valores umbrales para estos parámetros con respecto a la codificación AVS.

3.2.1 Pérdida de sincronismo (SL)

La pérdida de sincronismo debe ser monitorizada, a través de un campo de la cabecera del protocolo de transporte denominado: *sync_byte*. Este campo debe tener 8 bits, los cuales presentan un valor fijo de 47, en el sistema numérico hexadecimal. La importancia de este campo es relevante, puesto que permite la correcta decodificación de los paquetes de video y la sincronización de cada programa portado en la trama de transporte. Se establece que la sincronización fue perdida cuando dos bytes de sincronismo llegan de forma consecutiva con error, es decir con un número diferente a 47 en hexadecimal. La variable que identifica el número de errores que ocurren en la recepción de este parámetro, se denomina: *SL_error*.

3.2.2 Contador de Continuidad (CC)

Este campo debe tener un tamaño de 4 bits, es denominado: *continuity_counter* y se incrementa con cada paquete de la trama de transporte, que contenga el mismo identificador de programas. El valor de este campo va de 0 a 15. Una condición de error es detectada cuando un paquete no presenta un valor posterior al valor del paquete que le precede.

El número de errores que ocurren en la recepción de este parámetro, se representa a través de la variable: *Continuity_Count_error*.

3.2.3 Tabla de Asociación de Programas (PAT)

Es uno de los 6 tipos de tablas de Identificadores Específicos de Programas (PSI). Son identificadas con el valor de PID igual a 0x0000. El PAT, precisa la correspondencia entre el número de programa y el valor del identificador de programas (PID) de los paquetes de la trama de transporte, que portan la definición de ese programa. Entre uno de los parámetros de la sintaxis para la definición de la sección de esta tabla se encuentra el campo *table_id*. Este debe ser un campo de 8 bits, que especifica el contenido de un PSI y cuyo valor debe ser 0x00, para una sección de PAT. Una condición de error para la llegada de una Tabla de Asociación de Programas es detectado, si una de las tres condiciones siguientes se cumple:

- El tiempo entre paquetes con valor de PID igual a 0x0000 es mayor que 0.5 segundos. Los paquetes con valor de PID igual a 0x0000 no arriban con valor de *table_id* igual a 0x00.
- El campo: *scrambling_control*, es diferente de 00 para los paquetes con valores de PID igual a 0x0000.

La variable que identifica el número de errores recibidos en este parámetro se denomina: *PAT_error*.

3.2.4 Tabla de Mapeo de Programas (PMT)

La Tabla de Mapeo de Programas, constituye una de las tablas del PSI. Su valor de PID, es asignado por el PAT. Provee la relación entre los números de programas y los elementos que comprenden a los mismos. Algunos de estos elementos pueden ser por ejemplo, una transmisión de programa en varios lenguajes, etc. Esta estructura, al igual que en el caso del PAT, presenta un campo llamado: *table_id* de 8 bits y cuyo valor para expresar que su contenido es un PMT, es igual a 0x02. La diferencia con respecto al PAT está, en que el valor de PID de estas tablas no es 0x0000. Un error en alguna de las Tablas de Mapeo de Programas, es detectado si una de las dos condiciones siguientes se cumple:

- Las sesiones de *tablas_id* igual a 0x02 no arriban como máximo en un tiempo de 0.5 segundos.
- El campo: *scrambling_control* es de valor diferente a 00 para las sesiones con *tablas_id* igual a 0x02.

El número de errores que ocurren en la recepción de este parámetro, es representado mediante la variable: *PMT_error*.

3.2.5 Referencia de Reloj para los Programas (PCR)

La Referencia de Reloj para los programas (PCR), se localiza en el campo de adaptación, de la cabecera de la trama de transporte. El mismo se divide en los campos: *program_clock_reference_base* y *program_clock_reference_extension*. El primer campo está formado por 33 bits y el segundo por 9 bits, para un total de 42 bits. El PCR de modo general especifica el tiempo para el cual cada byte del flujo de la trama de transporte fue multiplexado, de esta forma el decodificador puede sincronizar su reloj local, para el flujo de video entrante. Un error es detectado si la siguiente condición se cumple:

- Los paquetes que contengan PCR no arriban en un período menor a 40 milisegundos.

La variable: *PCR_error*, representa la cantidad de errores recibidos de este parámetro.

3.2.6 Error de Transporte (TE)

Este es un campo denominado: *transport_error_indicator*, constituido por un bit. Cuando este bit tiene valor 1, indica que al menos un error incorregible en un bit ha ocurrido en el paquete asociado. Es importante destacar, que este bit puede ser dado a 1 por una entidad externa a la capa de transporte y este valor será mantenido hasta que el error sea corregido.

3.2.7 Tablas de Información de Red (NIT)

El contenido de estas tablas especifica información privada. En su sintaxis de codificación, es necesario la existencia de un campo llamado: *table_id* de 8 bits, con valores comprendidos entre 0x40 y 0xFE en el sistema hexadecimal. Un error es detectado si se cumple:

- Las secciones con valor de *table_id* en el rango mencionado anteriormente no arriban en un intervalo menor a 10 segundos.

La cantidad de errores que ocurren en la recepción de este parámetro, se representa a través de la variable: *NIT_error*.

3.2.8 Tablas de Descripción de Servicios

Estas tablas describen los servicios visibles al usuario final. Sin el SDT, el receptor no tiene éxito en lograr que los servicios estén disponibles al usuario. Las SDT son un grupo de tablas adicionales que contienen detalles de los contenidos de la trama de transporte. Se detecta una imperfección si se cumple:

- Las secciones con valor de *table_id* igual a 0x42 no están presente en el PID 0x0011 por más de dos segundos.
- Las secciones con valor de *table_id* diferentes a 0x42, 0x46, 0x4A o 0x72 estén presentes en paquetes con valor de PID igual a 0x0011.

La variable que identifica el número de errores que ocurren en la recepción de este parámetro se denomina: *SDT_error*.

3.2.9 Código de Redundancia Cíclica (CRC)

El Código de Redundancia Cíclica, permite verificar si se introduce algún error por ejemplo, en alguna de las estructuras de las tablas PSI y es posible detectar un error, si el CRC de un paquete es diferente al CRC del paquete anterior, pero esto solo es válido para paquetes con el mismo identificador de programas.

El número de errores que ocurren en la recepción de este parámetro, se representa a través de la variable: *CRC_error*.

3.2.10 Error en la disponibilidad del servicio (SAE)

El propósito de este parámetro, es identificar las distorsiones y las severas interrupciones del servicio prestado, para diferentes condiciones de recepción. Para lograr lo anterior se basa en los errores que ocurren en los parámetros: SL, PMT y PAT, para un intervalo de análisis de tiempo de 10 segundos. Este parámetro se puede calcular a través de la expresión siguiente, donde ΔT , como se dijo equivale a un tiempo de 10 segundos.

$$SAE = \text{Máximo} [SL_error(\Delta T), PAT_error(\Delta T), PMT_error(\Delta T)]$$

La razón de error de disponibilidad del servicio, se calcula como el porcentaje de tiempo que estos parámetros exceden a un valor umbral. Véase la tabla 3.1.

3.2.11 Error en la degradación del servicio (SDE)

Este parámetro persigue identificar cuando se está en presencia de una fuerte degradación del servicio. El mismo analiza los errores que ocurren en las métricas CRC, PCR, NIT y SDT, para un análisis de tiempo de 10 segundos. A través de la siguiente expresión, se puede realizar el cálculo:

$$SDE = \text{Máximo} [CRC_error (\Delta T), PCR_error (\Delta T), NIT_error (\Delta T), SDT_error (\Delta T)]$$

La razón de error en la degradación del servicio, se calcula como el porcentaje de tiempo que estos parámetros exceden a un valor umbral. Véase la tabla 3.1.

3.2.12 Deterioro del servicio (SIE)

El objetivo de este parámetro es identificar los primeros signos de degradación del servicio bajo determinadas circunstancias de recepción. Esta métrica se materializa midiendo los errores que ocurren en determinados parámetros, como por ejemplo: CC y TE. La expresión que se muestra a continuación ilustra su concepto:

$$SIE = \text{Máximo} [Continuity_Count_error (\Delta T), Transport_error (\Delta T)]$$

La razón de error en el deterioro del servicio, se calcula como el porcentaje de tiempo que estos parámetros exceden a un valor umbral. Véase la tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Valores umbrales para los parámetros SAE, SDE, SIE

Descripción	Valor umbral	% de tiempo
Buena calidad de recepción	SAE =1	100
	SDE =1	100
	SIE <=2	95

Mala calidad de recepción	SAE ≥ 2	75
	SDE ≥ 2	95
	SIE ≥ 3	95

3.3 Propuesta de parámetros de medición de la calidad de video que se obtienen a través del protocolo RTP para el AVS.

El Protocolo de transporte en Tiempo Real (RTP, del inglés *Real Time Protocol*), proporciona el transporte extremo a extremo para aplicaciones con necesidad de transmisión en tiempo real en redes *unicast* o *multicast*, como por ejemplo videoconferencias, difusión de audio/video, simulaciones, etc. El protocolo RTP se creó específicamente para la transmisión de audio y video, gracias a que incluye en su cabecera informaciones que sincronizan imagen y sonido, al tiempo que es capaz de determinar si se han perdido paquetes y si éstos han llegado en el orden correcto. En contra, tenemos que el RTP no asegura ni la entrega continua de información, ni la de todos los paquetes y no puede evitar la entrega desordenada de los mismos, aunque sí los controla. La cabecera del protocolo RTP se muestra en el anexo 3.a.

Mediante el análisis de varios de los campos de la cabecera del protocolo RTP, es posible establecer parámetros que nos permitan evaluar la calidad del video recibido por el cliente. Los parámetros que se proponen medir son los siguientes:

- Latencia
- Jitter
- Pérdida de paquetes

3.3.1 Pérdida de paquetes

La pérdida de paquetes se monitorea, a través del campo de la cabecera RTP: número de secuencia. El mismo, enumera secuencialmente cada uno de los paquetes. Además, este campo también mide los paquetes que llegan fuera de orden. La función de este campo es enumerar paquetes, en este caso, los paquetes de la trama de transporte contienen información perteneciente a unidades NAL.

En la tabla 3.2, se relacionan un conjunto de parámetros a tener en cuenta para obtener una buena calidad de video en dependencia de la razón de codificación y si se está transmitiendo para la SDTV o HDTV.

Tabla 3. 2 Valores umbrales de parámetros para la pérdida de paquetes

Formato	Razón de bits (Mbps)	Distancia máxima de pérdidas	Cantidad máxima de paquetes perdidos
SDTV	1.75	1 error por hora	4 paquetes IP
	2.0	1 error por hora	5 paquetes IP
	2.5	1 error por hora	5 paquetes IP
	3.0	1 error por hora	6 paquetes IP
HDTV	8	1 error por 4 horas	14 paquetes IP
	10	1 error por 4 horas	17 paquetes IP
	12	1 error por 4 horas	20 paquetes IP

Cuando se analicen los valores anteriores, hay que tener en cuenta, que el estándar AVS en cada paquete que va a ser enviado por la red IP, realiza la multiplexación de 7 paquetes con el formato de la trama de transporte.

3.3.2 Latencia y Jitter

Existen varios componentes del retardo y del *jitter* que pueden afectar la calidad de la imagen final, que fueron expuestos en las secciones 2.4.1 y 2.4.2 respectivamente. El retardo extremo a extremo y la variación de este retardo, pueden ser monitorizados a través del campo: indicación de tiempo. Utilizando este campo, es posible obtener una marca de tiempo de la fuente y entonces realizar la correcta medición de los mismos.

El cálculo del *jitter* se realiza utilizando la expresión siguiente:

$$j_p = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (it_i - it_N)^2$$

Donde:

N : Número total de paquetes recibidos.

it_N : Promedio de tiempo entre los paquetes recibidos.

it_i : Tiempo de arribo de cada paquete.

La tabla 3.3, ilustra los valores máximos para diferentes razones de bits de la codificación en dependencia del tipo de servicio que se ofrezca, ya sea SDTV o HDTV.

Tabla 3. 3 Valores umbrales de latencia y *jitter*

Formato	Razón de bits (Mbps)	Latencia	<i>Jitter</i>
SDTV	1.75	< 200 ms	< 50 ms
	2.0	< 200 ms	< 50 ms
	2.5	< 200 ms	< 50 ms
	3.0	< 200 ms	< 50 ms
HDTV	8	< 200 ms	< 50 ms
	10	< 200 ms	< 50 ms
	12	< 200 ms	< 50 ms

3.4 Propuesta de parámetros para evaluar la calidad de video que se derivan de la codificación fuente en AVS.

La calidad del flujo de video que es recibo por el usuario, puede ser afecta por disimiles factores que degradarían la señal, los factores que inciden sobre la calidad de servicio y los factores que introduce el tipo de estándar que se haya utilizado para comprimir la señal de video. Si los factores de la calidad de servicio (*jitter*, latencia, pérdida de paquetes, etc.), se mantienen en niveles estables y la calidad de la imagen sigue siendo baja, entonces hay que monitorear los parámetros de la codificación fuente empleada.

Los parámetros que tienen que ver con el tipo de codificación empleada que se proponen para ser monitoreados son los siguientes:

- Perfil y Nivel
- Formato de Cromaticidad
- Tamaño de las imágenes
- Número de cuadros por segundo
- Razón de aspecto
- Razón de compresión

3.4.1 Perfil y Nivel

El AVS solo presenta un perfil llamado *Jizhun* y para el mismo define 4 niveles con diferentes formatos de cromaticidad. Siempre se va a transmitir utilizando el perfil *Jizhun* y los niveles que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Niveles y su formato de cromaticidad para el perfil *Jizhun*

Aplicación	Nivel	Formato de cromaticidad
SDTV	4.0	4:2:0
HDTV	6.0	4:2:0

3.4.2 Formato de cromaticidad

Para conocer el formato de cromaticidad se necesita leer de la cabecera de la unidad NAL el campo: *nal_unit_type*, con un valor correspondiente a 1, indicando que se está en la sección del RBSP: Conjunto de parámetros de una imagen, cuya sintaxis está descrita por la función: *seq_parameter_set_rbsp*. Dentro de esta sintaxis, se puede hacer uso de la función: *chroma_format_idc*, la cual devuelve un valor entero sin signo que especifica como muestra la tabla 3.5 el tipo de formato de cromaticidad utilizado.

Tabla 3. 5 Valores del formato de cromaticidad para AVS

<i>chroma_format_idc</i>	Formato de cromaticidad
--------------------------	-------------------------

0	Monocromático
1	4:2:0
2	4:2:2

Se recomienda que se utilice como formato de cromaticidad estándar para la transmisión de señales codificadas con AVS, el formato de 4:2:0 para la SDTV y la HDTV. Este formato consigue grandes factores de compresión manteniendo un alto nivel en la calidad de la imagen, esto gracias a que trata con menos rigor los componentes de luminancia, a los cuales el ojo humano es más sensible, como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3. 1 Formato de cromaticidad 4:2:0 (1)

3.4.3 Tamaño de las imágenes

El primer paso para obtener el tamaño de una imagen, es leer de la cabecera de la unidad NAL el campo: *nal_unit_type* con un valor correspondiente a 1. Para obtener la cantidad de píxeles horizontales se debe hacer referencia a las funciones: *pic_width_in_mbs_minus1* y *MbPartWidthC*. El valor devuelto por la primera función más 1, resulta el tamaño horizontal de la imagen en unidades de macrobloques y la segunda función devuelve el número de píxeles de los macrobloques horizontales.

Para obtener la cantidad de líneas verticales de la imagen es necesario utilizar otras dos funciones: *pic_height_in_map_units_minus1* y *SubMbPartHeightC*. El valor devuelto por la primera función más 1, indica el tamaño vertical en unidades de macrobloques que presenta la imagen y el segundo la cantidad de líneas por macrobloque.

En la tabla 3.6 se muestran los valores umbrales del tamaño de las imágenes para que la calidad se mantenga estable en la transmisión.

Tabla 3. 6 Tamaño máximo de las imágenes

Aplicación	Tamaño de las imágenes (píxeles)	
	Líneas barrido horizontal	Líneas barrido vertical
SDTV	720	480
HDTV	1408	1152

3.4.4 Número de cuadros por segundo

La obtención de este indicador, conlleva primeramente a leer de la cabecera NAL la función: *nal_unit_type*, la cual debe tener un valor de 7. También dentro de los parámetros de la secuencia del RBSP, la bandera: *vui_parameters_present_flag*, tiene que estar en 1, para poder utilizar las funciones: *AU_frame_rate_code* y *video_format*. La función: *video_format*, brinda la información referente al tipo de formato de televisión con la cual el video fue codificado. Los valores de esta función se pueden observar en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Valores de la función: *video_format*

video_format	Significado
0	Componente
1	PAL
2	NTSC
3	SECAN
4	Reservado
5	Formato de video no especificado
6	Reservado
7	Reservado

Con la función: *AU_frame_rate_code*, se obtiene la razón de cuadros por segundo a la que hay que mostrar el video. En la tabla 3.8 se muestran valores que pudiera tomar esta función.

Tabla 3. 8 Valores asociados a su cantidad de cuadros por segundo

AU_frame_rate_code	Valores de razón de cuadros por segundo
0	Prohibido
1	23.97
2	24
3	25
4	29.97
5	30

6	50
7	59.94
8	60
9 a 0xF	Reservado

Se recomienda que se transmita con la función *video_format* tomando valor 2, y la función *AU_frame_rate_code*, puede tomar valor de 4 o 5. Con estos formatos se logra reducir un tanto los paquetes que serán enviados a través de la red IP, garantizando así que con la pérdida de un paquete el impacto en la calidad sea menor y por menor tiempo.

3.4.5 Razón de aspecto

La relación de aspecto de la imagen que se define como el cociente entre la anchura y la altura de la ventana. Las más conocidas son la relación de 4:3, que significa que la altura de la pantalla es $\frac{3}{4}$ partes de la anchura y la otra relación es la de 16:9, utilizada en los televisores de alta definición.

La compatibilidad entre los dos formatos es uno de los principales problemas que introduce esta variedad de relaciones de aspecto. Si tenemos una señal con una relación de aspecto de 16:9 y queremos comprimirla para ser mostrada en monitor con una relación de aspecto de 4:3, introduciría fallas en la calidad de la imagen como se muestra en la figura 3.2 y al contrario también nos afectaría la calidad final de la imagen como se ilustra en la figura 3.3.

Figura 3. 2 Opciones de presentación de imágenes 16:9 en un monitor 4:3 (1)

Figura 3. 3 Opciones de presentación de imágenes 4:3 en un monitor 16:9 (1)

Se propone entonces, que la relación de aspecto de la señal a transmitir sea según los valores que se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Valores de la relación de aspecto

Aplicación	Tamaño de las imágenes	Relación de aspecto
SDTV	720 x 480	4:3
HDTV	1408 x 1152	16:9

3.4.6 Razón de compresión

Para calcular la razón de compresión es necesario conocer la cantidad de imágenes de tipo I, B y P que son recibidas, por ello se utiliza la expresión de la sección 2.4.10. El estándar AVS, utiliza GOP cerrado, lo que significa que como mínimo en cada grupo de imágenes que se envíe deben existir 2 imágenes de tipo I. La expresión de la sección 2.4.10 experimentaría un breve cambio quedando de la forma siguiente:

$CR = 2 * (I / (I + B + P))$; Donde I, B y P representan las imágenes intra, bidireccionales e interpoladas respectivamente.

En la tabla 3.10 se muestra el valor mínimo que se propone de razón de compresión para la SDTV y la HDTV.

Tabla 3. 10 Valor mínimo de la razón de compresión

Aplicación	Valor mínimo
SDTV	2
HDTV	4

3.5 Validación de la propuesta

Anteriormente se realizó la descripción de los parámetros para medir la calidad de video en redes IPTV con codificación AVS. En esta sección, se validará la propuesta utilizando para ello el Método de Expertos. Este método será de gran utilidad porque permitirá conocer el grado de utilidad práctica de la investigación, a partir de la experiencia de especialistas en esta área de conocimiento.

A continuación se describe la guía a seguir para la validación de la propuesta.

1. Realizar la selección de expertos a participar en la validación.

Para la selección de los expertos se tuvieron en cuenta algunos criterios como: su experiencia en trabajos acerca de la calidad de imagen, la efectividad de su labor como profesional y su disposición a

participar en la encuesta. Esto garantiza que las respuestas tengan la calidad requerida, puesto que las opiniones son confiables y tienen alto grado de validez.

En esta selección es útil emplear la valoración por coeficientes de competencia mediante un formulario de autovaloración. Para esto se calcula el coeficiente de competencia (K), a partir de su conocimiento o información sobre el tema (k_c) y el coeficiente de argumentación o valoración (k_a), utilizando la siguiente expresión:

$$K = \frac{1}{2} (k_c + k_a)$$

Para la interpretación de los coeficientes de competencia se tienen en cuenta los siguientes intervalos:

- a) Si se encuentra entre: $0,8 < K < 1,0$, estamos en presencia de un coeficiente de competencia alto.
- b) Si se localiza entre: $0,5 < K < 0,8$, representa un coeficiente de competencia medio.
- c) Si está comprendido en: $K < 0,5$, constituye un coeficiente de competencia bajo.

Para determinar el k_c , el experto marcará en la casilla enumerada, según su criterio acerca del conocimiento que posee sobre el tema, en una escala del 0 al 10 y que después para ajustarla a la teoría de las probabilidades se multiplicará por 0,1. Para definir el k_a , se ofrece una tabla con cierta información. En esta tabla el experto debe marcar, según su criterio, los elementos que le permiten argumentar su evaluación del nivel de conocimiento seleccionado anteriormente, [véase anexo 3.b]; luego de que el experto marque con una X vamos a la tabla donde se traducen estas marcas en puntos, [véase anexo 3.c].

El resultado de los coeficientes de competencia de todos los encuestados se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3. 11 Coeficientes de competencia de todos los encuestados.

Expertos	k_a	k_c	K	Interpretación
1	0.9	1	0.95	ALTO
2	0.8	1	0.9	ALTO

Capítulo III. Propuesta de parámetros para medir la calidad de video en AVS

3	0.7	0.8	0.75	MEDIO
4	0.8	0.7	0.75	MEDIO
5	0.9	0.9	0.9	ALTO
6	0.6	0.7	0.65	MEDIO
7	0.5	0.4	0.45	BAJO
8	0.7	0.7	0.7	MEDIO
9	0.5	0.3	0.4	BAJO

Se seleccionaron 7 expertos de los 9 encuestados, los mismos cumplían con las características establecidas. La relación de los expertos se muestra en una tabla, [véase anexo 3.d].

2. Envío de la documentación necesaria a los expertos que participarán en la validación.

A los expertos se les envía el trabajo de diploma para que estudien el tema y puedan dar un criterio preciso del mismo. Además, un modelo donde cada experto refleja un peso determinado de cada criterio según su consideración (en una escala de 1 al 10) y la encuesta para la evaluación de la propuesta [véase anexo 3.e].

Los resultados referidos a la recogida de los pesos de cada criterio se muestran en la tabla 3.12, donde:

E: Expertos que realizan la evaluación.

C: Criterios evaluados.

E_p : Promedio del peso asignado a cada criterio por experto.

P_r : Peso relativo de cada criterio.

Capítulo III. Propuesta de parámetros para medir la calidad de video en AVS

Tabla 3. 12 Pesos de cada criterio.

Criterios	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_p	P_r
C_1	9	9	9	10	10	9	10	9.42	0.147
C_2	9	10	9	9	9	10	9	9.28	0.145
C_3	9	9	9	10	10	10	9	9.42	0.147
C_4	9	8	10	9	8	8	9	8.71	0.136
C_5	8	9	9	9	10	10	10	9.28	0.145
C_6	9	8	9	8	9	9	9	8.57	0.133
C_7	10	9	10	9	10	8	9	9.28	0.145
Total	-	-	-	-	-	-	-	63.96	-

En la tabla 3.13 se expone el resultado de la recogida de la evaluación de cada experto de acuerdo a la encuesta realizada [véase anexo 3.f] donde:

E: Expertos que realizan la evaluación.

C: Criterios evaluados.

E_c : Evaluación promedio de cada experto.

Tabla 3. 13 Evaluación de cada criterio por los expertos.

Criterios	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_c
C_1	5	5	5	5	5	5	5	5
C_2	5	5	5	5	5	4	3	4.57
C_3	4	4	5	5	4	4	4	4.28
C_4	5	5	5	5	4	5	4	4.71
C_5	5	4	5	4	5	5	5	4.71

Capítulo III. Propuesta de parámetros para medir la calidad de video en AVS

C_6	4	4	4	5	4	4	5	4.28
C_7	5	5	5	5	4	4	3	4.42

3. Conociendo el P_r y la E_c de cada criterio, se procede al cálculo de la $(P_r * E_c)$.

En la tabla 3.14 se expresa los valores del cálculo del $(P_r * E_c)$ y la sumatoria de estos valores, todo esto para luego determinar el índice de aceptación (IA) de nuestro trabajo, donde:

P_r : Calificación promedio de cada criterio.

E_c : Evaluación promedio de cada experto.

Tabla 3. 14 Cálculo de $Pr * EC$

Criterios	E_c	P_r	$(P_r * E_c)$
C_1	5	0.147	0.74
C_2	4.57	0.145	0.66
C_3	4.28	0.147	0.63
C_4	4.71	0.136	0.64
C_5	4.71	0.145	0.68
C_6	4.28	0.133	0.57
C_7	4.42	0.145	0.64
$\Sigma (Pr \times Ec)$			4.56

4. Luego se calcula el Índice de Aceptación (IA)

$$IA = \Sigma (Pr \times Ec) / 5$$

$$IA = \Sigma (Pr \times Ec) / 5$$

$$IA = 4,56 / 5$$

$$IA = 0,912$$

5. Se ubica el Índice de Aceptación en rangos ya predefinidos, determinando así la probabilidad de éxito.

Los rangos predefinidos para el Índice de Aceptación son los siguientes:

Un valor de: $IA > 0,7$; Existe una alta probabilidad de éxito.

Un valor entre: $0,7 > IA > 0,5$; Enseña una probabilidad media de éxito.

Un valor entre: $0,5 > IA > 0,3$; Presenta una probabilidad de éxito baja.

Un valor de: $0,3 > IA$; Muestra un fracaso seguro.

Con el índice de aceptación obtenido de la utilización de este método estadístico, podemos decir que la propuesta de parámetros para medir la calidad de video en redes IPTV que utilicen el estándar de codificación AVS, tiene una alta probabilidad de éxito en su aplicación práctica.

3.6 Conclusiones

En este capítulo se realizó una propuesta de los parámetros a medir, los valores umbrales y las funciones a través de las cuales se obtienen estos valores. Los parámetros fueron propuestos de acuerdo a la trama de transporte utilizada, al protocolo RTP y a la codificación fuente empleada. Por último, se llevo a cabo la validación de la propuesta lo que demostró teóricamente que su implementación puede ser satisfactoria.

CONCLUSIONES GENERALES

- El análisis de las fuentes bibliográficas que abordan el tema sobre la calidad de la señal digital en los sistemas IPTV permitió la conformación de un capítulo teórico que explica las características de dicho sistema.
- Las técnicas y herramientas que se utilizan para realizar la codificación de imágenes posibilitan alcanzar grandes factores de compresión, manteniendo aceptables niveles de calidad de video para el sistema visual humano.
- Los métodos de medición de la calidad de video, tanto objetivos como subjetivos, se caracterizan por asegurar adecuados parámetros, que pueden ser medibles y auditables, que evalúen la calidad, de experiencia y de servicio, de la transmisión de la señal digital.
- El estándar AVS se caracteriza por ser un estándar de nueva generación que propone grandes niveles de calidad pero con una baja complejidad y un menor costo de implementación con respecto al estándar H.264, basándose en diversas herramientas novedosas de compresión.
- Se describieron parámetros como la latencia, el retardo, el *jitter*, la razón de compresión, entre otros que pueden ser monitoreados para evaluar la calidad de video y sus valores umbrales.

RECOMENDACIONES

A la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.:

- Utilizar el presente estudio como parte importante para la implementación, entre los servicios que ofertarán, de la IPTV, ya que esta investigación aborda un elemento esencial para el buen despliegue de un sistema IPTV que pretenda garantizar una buena calidad de servicio.

A la Universidad de las Ciencias Informáticas:

- Fomentar la realización de investigaciones respecto al tema estudiado, pues aún persisten elementos necesarios sin analizar, desde la práctica concreta así como de la teoría, para la implementación de un nuevo servicio dentro de la red nacional.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **Avizora.** Avizora. [En línea] 2001.
http://www.avizora.com/publicaciones/television/textos/historia_television_0001.htm.
2. **Ruiz, Francesc Tarrés.** *Sistemas audiovisuales*. Barcelona, España : Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2000.
3. **Quiñones Oberto, Dianko y Carol Betancourt, Osvaldo Román.** *Calidad de video en los sistemas de IPTV con codificación MPEG*. Ciudad de La Habana, Cuba : s.n., 2008.
4. **Simonetta, Ing. José.** La Televisión Digital. [En línea] www.intertel-broadcast.com.ar/.../LA_TELEVISION_DIGITAL.pdf.
5. **Calero Guerrero, Antonio Neptalí y Villacrés Ramos, Carlos Rolando.** *Análisis y estudio de Ingeniería para la selección del estándar de televisión digital más apropiado para Ecuador bajo la supervisión de Supertel*. Riobamba, Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2009.
6. **Textronix.** A guide to IPTV: The Technologies, the Challenges and How to Test IPTV. [En línea] www.tektronix-resources.com/0707MTM400/IPTVPrimer.pdf.
7. **IP, CONVERGENCIA HACIA TELEVISIÓN SOBRE.** Biblioteca de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. [En línea] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/526/3/T10457CAP2.pdf> .
8. **Rahrer, Tim, Fiandra, Riccardo y Wright, Steven.** DSL Forum. *Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements* . [En línea] www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf.
9. A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis. [En línea] 2001.
http://www.broadcastpapers.com/whitepapers/25W_11418_0.pdf?CFID=23763093&CFTOKEN=1166ca67c0e249a5-601CC340-C10F-2137-7F6E46AB2C864B3F.
10. **CONTRERAS OYARZÚN, CARLOS EDUARDO.** "Diseño, Operación y Gestión de una Red de Video IP". [En línea] 2006. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfic764d/doc/bmfic764d.pdf>.
11. [masadelante.com](http://www.masadelante.com). [En línea] <http://www.masadelante.com/faqs/mpeg>.
12. **Gao, Wen, Ma, Siwei y Reader, Cliff.** *An End-to-End Application System of AVS: AVS-IPTV in China*. Beijing, China : PCM 2007, LNCS 4810, 2007.
13. **Barbón Hechavarría, Akemi y Ducás Ortiz, Yanelis.** *PROPUESTA DE PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE VIDEO EN REDES DE IPTV CON MPEG-4 PARTE 10/H.264*. Ciudad de La Habana, Cuba : s.n., 2009.

14. **España, Grupo Técnico del Foro de la Televisión de Alta Definición en.** CALIDAD DE VÍDEO EN ALTA DEFINICIÓN. [En línea]
www.televisiandigital.es/.../AltaDefinicion/.../8TH2CALIDADDEVIDEOENTVDEALTADEFINICIÓN.pdf .
15. **Yera Moya, Leyany y Díaz Lorenzo, Noisy.** *Propuesta de implementación de IPTV en la Universidad de las Ciencias Informáticas.* Ciudad de La Habana, Cuba : s.n., 2009.
16. **Gao, Wen, y otros.** AVS - The Chinese Next-Generation Video Coding Standard. [En línea]
www.avs.org.cn/reference/AVS%20NAB%20Paper%20Final03.pdf.
17. **Wong, Man-Lan, Lin, Yi-Lun y Chen, Homer H.** A HARDWARE-ORIENTED INTRA PREDICTION SCHEME FOR HIGH DEFINITION AVS ENCODER. [En línea]
www.eurasip.org/Proceedings/Ext/PCS2007/defevent/papers/cr1233.pdf.
18. **Jin, Xin, Li, Songnan y Ngi Ngan, King.** Platform-independent MB-based AVS video standard implementation. [En línea] www.ee.cuhk.edu.hk/~knngan/SP-IC_v24_n4_p312-323.pdf.
19. **Yu, Lu.** AVS Project and AVS-Video Techniques. [En línea] 13 de Diciembre de 2005. <http://www-ee.uta.edu/dip/Courses/EE5351/ISPACSAVS.pdf>.
20. **Yu, Lu, y otros.** *Overview of AVS-Video: tools, performance and complexity.* Zhejiang University, China : s.n., 2005.
21. **University, Tsinghua y University, Peking.** FG IPTV-0512. [En línea] ties.itu.int/ftp/public/itu-t/fgiptv/.../FG%20IPTV-C-0510e.doc.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

22. **Communications, Axis.** Técnicas de compresión. [En línea]
www.axis.com/.../Tecnicas%20de%20compresion%20de%20video.pdf.
23. **Cabeen, Ken y Gent, Peter.** Image compression and the discrete cosine transform. [En línea]
online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/laproj/fall98/pken/dct.pdf.
24. **ENGINEERING, EXTEL.** Sistema de Compresión Video – Audio – Data M-PEG. [En línea]
http://www.extel.com/html_files/mpeg-p1.pdf.
25. **Gao, Wen.** Video Coding Technology in Digital Media System. [En línea]
www.ctr.nctu.edu.tw/.../Video_Coding_Technology_in_Digital_Media_System.pdf.
26. **Rodríguez Serrano, Lázaro, Vidaurrezaga Álvarez, Miguel y Álvarez Almeida, José R.** *Televisión Tomo 1.* La Habana, Cuba : ENPES, 1991.
27. **Hernández Ramírez, Alejandro y Álvarez Batista, Dayniel.** *Contribución al estudio de las normas de Televisión Digital.* Ciudad de La Habana, Cuba : s.n., 2009.
28. **Watson, Andrew B, Hu, James y McGowan III, Jhon F.** Design and performance of a digital video quality metric. [En línea] 2000.
<http://www.google.es/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.39.4085%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&rct=j&q=Design+and+performance+of+a+digital+video+quality+metric%2Bpdf&ei=05sZTMP9NYKd>.
29. **BrixVision™.** Live IPTV Monitoring. [En línea] 2007. documents.exfo.com/specsheets/BrixVision-angHR.pdf.
30. **Mercado, Gustavo, Raimondo, Hector y Díaz, Javier.** Calidad de servicio en redes IP. [En línea] 2009.
www.codarec.frm.utn.edu.ar/.../Calidad%20de%20Servicio%20en%20Redes%20IP.pdf.
31. **Communication, Axis.** Compresión de Vídeo Digital. [En línea] 2004.
www.axis.com/es/documentacion/compresion_video_es.pdf.
32. TRANSFORMADA DISCRETA DEL COSENO. [En línea] 2010.
www.diac.upm.es/acceso_profesores/.../transformadas/pdf/dct.pdf.
33. **DVE-4Q, Jiuzhou.** Codificador MPEG-2 de 4 Canales para cabeceras de TV Digital. [En línea] 2010.
connect.docuter.com/downloaddocument.php?documentid...pdf.
34. **Domínguez, Ochoa y García, J.Mireles.** Descripción de nuevo estándar de video H.264. [En línea] 2007.
redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/404/40480304.pdf.

35. **Gutiérrez, Alejandro Delgado.** FLUJOS DE PROGRAMA Y DE TRANSPORTE MPEG-2 APLICACIÓN A DVB. [En línea] 2007. www.etc.upm.es/tsmpeg2d.pdf.
36. **GCO, TSC &.** Implementación de una aplicación de video-on-demand sobre redes de fibra óptica. [En línea] 2008. upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8771/1/escrito_pfc.pdf.
37. **GmbH, Dimetis.** QoE and QoS monitoring for IPTV. [En línea] 2007. www.opastco.org/doclibrary/1763/OPASTCOPresentationIPTV.pdf.
38. **Melendi, David, Pañeda, Xabiel G y García, Víctor G.** Métricas para el Análisis de Calidad en Servicios de Vídeo-Bajo-Demanda Reales. [En línea] 2006. cita2003.fing.edu.uy/articulosvf/19.pdf.
39. **Group, CS MSU Graphics & Media Lab Video.** MSU Video Quality Measurement Tool Documentation. [En línea] Enero de 2010. <http://www.compression.ru/video/>.
40. **Aransay, Alberto Los Santos.** Estado del arte en IPTV. [En línea] Junio de 2009. www.albertolsa.com/.../multimedia_e_internet_estado_del_arte_en_ipvt-_alberto_los_santos.pdf.
41. **POZUELO, JUAN ÁNGEL CACHINERO.** ANÁLISIS Y MODELADO DE “MULTICAST” INTERDOMINIO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE VIDEO. [En línea] 2009. biblioteca.universia.net/html_bura/.../params/.../48316109.html.
42. **Foncubierta Rodríguez, Antonio y Cerquide, Ramón.** Análisis de calidad de video H.264 en streaming sobre HSUPA. [En línea] 2006. www.mundointernet.es/IMG/pdf/ponencia174.pdf.
43. **UNION, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION.** SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video. [En línea] 2003. neuron2.net/.../T-REC-H%5B1%5D.264-200606-!!Amd1!PDF-E.pdf.
44. **Networks, Brix.** Video Quality Measurement Algorithms: Scaling IP Video Services for the Real World. [En línea] 2006. documents.exfo.com/Misc/WPaper-VQI-ang.pdf.
45. **Figueredo Vázquez., Yeysi A y González García., Alberto.** *Integración de los servicios de voz, video y datos sobre la red de la UCI.* 2007.