

01129
11



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FUNDAMENTOS, ANALISIS Y ESTADO DEL ARTE EN LA
TECNOLOGIA DE TELEVISION DIGITAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO
PRESENTAN:

JOSE FREDI BERDEJO VICTORIO
JOSE MANUEL CAMPILLO RAMIREZ
LUIS ALBERTO DAVID CRUZ ESTRADA
MANUEL FERNANDEZ DIAZ
MARGARITO LEON LUNA



DIRECTOR DE TESIS:
M. en I. JORGE VALERIANO ASSEM

CIUDAD UNIVERSITARIA

2003

A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Carpelta Hernández

José Manuel

FECHA: 20/5/03

FIRMA: [Firma]

AGRADECIMIENTOS

A todos nuestros seres queridos, a la Facultad de Ingeniería, y a la UNAM quien nos ha permitido ser de sangre azul y piel dorada, la que nos enseñó que en el espíritu se dejan de seguir huellas, pues se crean las propias.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Linda Fernández

DRAZ

FECHA: 20/5/03

FIRMA: [Firma]

B

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTA

Índice

Introducción	1
Capítulo 1 ¿Qué es la Televisión Digital?	
1.1 Televisión Digital	1
1.2 ¿Por qué digital?	2
1.3 Panorama Histórico	3
Capítulo 2 Fundamentos	
2.1 Sistema visual humano	5
2.2 El sistema auditivo humano	6
2.3 Descripción básica de un sistema de televisión analógico	9
2.4 La técnica de la televisión digital	13
Capítulo 3 Digitalización y compresión de señales	
3.1 Principios del procesamiento digital de señales	16
3.2 Parámetros de la señal de audio y video	22
3.3 Aspectos básicos de la compresión	27
3.4 MPEG	40
3.5 Multiplexión	53
Capítulo 4 Transmisión	
4.1 Sistemas de Transmisión Terrestre de Televisión Digital DTV	65
4.2 Parámetros de transmisión en TV digital terrestre	69
4.3 Estándares de transmisión de televisión digital ATSC y DVB	74
4.4 ATSC sistemas de transmisión DTV por cable y satélite	82
4.5 Sistemas de transmisión DTV para el estándar DVB	87
Capítulo 5 Recepción	
5.1 Características generales	94
5.2 Recepción de señales digitales	95
5.3 Receptor ATSC	98
5.4 Receptor DVB	107
5.5 Sistemas de recepción en TV Digital	114
5.6 Receptor Decodificador Integrado	128
Capítulo 6 Situación actual de la televisión digital	
6.1 Investigación documental sobre el estado del arte	134
6.2 Televisión interactiva	136
6.3 Principales plataformas tecnológicas	138
6.4 Estándares de televisión interactiva	143
6.5 Servicios que ofrece la televisión digital	147
6.6 Situación de la televisión digital en México	152
6.7 La televisión en la UNAM	155
6.8 Algunas organizaciones que contribuyen a la estandarización de la TV digital	157
Capítulo 7 Temario propuesto	
7.1 Introducción	161
7.2 Temario	162
7.3 Asignación de tiempos para el temario	163
Conclusiones	174
Bibliografía	176

C

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

El gran desarrollo experimentado por las tecnologías de la información ha creado muy diversas necesidades tanto de conocimiento como de aplicación, requiriendo de esta manera herramientas que satisfagan dichas necesidades. A medida que las comunicaciones digitales se imponen cada vez más surge la necesidad de actualizarlos en dichos sistemas y ésta es una de las principales razones que motivaron la siguiente investigación centrada en los sistemas de Televisión Digital.

Hace una década, la posibilidad de difundir video digital destinada al público en general parecía muy lejana, incluso se pensaba que su introducción no llegaría antes del final del siglo XX. La razón fundamental para afirmar esto, era el importante flujo de información que se necesitaba transmitir para una imagen de video digitalizada, el cual estaba entre 108 y 270 Mb/s.

A partir de finales de los años 80, el rápido desarrollo de eficaces algoritmos de compresión de video, como el estándar MPEG (Movie Picture Experts Group) para imágenes en movimiento, reducirían de forma significativa el flujo necesario para la transmisión de imágenes, lo que cambió radicalmente el panorama al llevar estas cantidades a valores mucho más razonables (de 1.5 a 30 Mb/s, dependiendo de las resoluciones de las imágenes en movimiento) para los canales establecidos, al tiempo que los progresos permiten considerar la realización práctica de circuitos de descompresión, así como los circuitos de memoria asociados a un precio asequible.

De ahí que el presente trabajo de investigación surgió de la necesidad de obtener, analizar y organizar información sobre televisión y de ir adaptándonos a la nueva tecnología. Lo anterior debido a que estamos en un contexto global viviendo su transformación tal como la entendemos hacia la televisión digital, la cual está originando el surgimiento de nuevos equipos, nuevos profesionales y nuevas técnicas en esta área.

Esta transformación supone un cambio dado que la documentación generada por esta tecnología, tanto en el aspecto de divulgación para los usuarios como en el aspecto técnico para los profesionistas, crece y está llena de nuevos términos y conceptos, la mayoría relativos a formatos de señal, técnicas de compresión, sistemas de almacenamiento de datos, etc.

En este entorno, y con base a la concesión por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCOT) del canal 60 otorgado a la UNAM para realizar pruebas y trabajos de investigación sobre TV Digital, se ha visto que el conocimiento de las técnicas de transmisión y recepción digital es limitado en nuestro país, aunado a que ya está en marcha la transición hacia esta tecnología, es necesario avocarse a su estudio.

La enseñanza que se da en las aulas, es la base de conocimientos para comprender, entender y/o desarrollar tecnología, éstos conocimientos permiten que los futuros profesionistas enfrenten con más herramientas su incursión en el mundo laboral, por ese motivo es muy importante, que en facultad se presenten materias como la de televisión digital, que aunque fuere considerada como optativa, puede traer consigo un interés especial ya que representará un conjunto de conocimientos adquiridos con anterioridad y en ese mismo momento, pero ya enfocados a una aplicación específica.

Por tanto, como ex alumnos optamos por realizar esta investigación dando una visión global de la televisión digital omitiendo la formulación matemática, ya que dicha formulación se puede encontrar en bibliografía más específica sobre el tema. Lo anterior debido a que los objetivos de esta tesis se centran en los conceptos fundamentales de los sistemas de televisión digital (DTV, por sus siglas en inglés) y así mismo obtener el grado de Ingenieros aportando una propuesta de temario de asignatura para televisión digital que permita entender este nuevo tópico y que pueda darse esta materia como tema especial en las carreras de electrónica, cómputo y telecomunicaciones.

Por otra parte la información que se ofrece en este trabajo sigue una secuencia basada en el sistema transmisor-receptor de televisión digital conformado primeramente por una fuente, el transmisor, un canal, el receptor y finalmente el destino.



De tal forma que esta tesis se desarrollará de la siguiente manera:

- Durante los primeros tres capítulos se hablará sobre un poco de historia, a continuación se tratarán los aspectos principales que caracterizan a la televisión y principios del procesamiento de señales.

En particular en el capítulo uno se inicia con una breve introducción de lo que es la DTV, así como su panorama histórico; las ventajas que éste representa sobre su contraparte analógica y los principales estándares.

Para analizar los sistemas DTV en el capítulo es esencial el estudio de los principios y conceptos de los sistemas de TV analógicos, partiendo de la parte más importante de estos: los sistemas visual y auditivo humano. Tales sistemas nos permiten definir conceptos como luminancia y crominancia (en el sistema visual), sub-bandas (en el sistema auditivo). Dichos conceptos sumados a otros propios de la TV analógica como: cuadro, campo, barrido, y en general todos los que permitan definir las propiedades de la imagen y el sonido en TV, son básicos para comprender el proceso de compresión de señales digitales de audio y video.

La compresión representa el punto clave para poder desarrollar los nuevos sistemas DTV, ya que permite reducir el ancho de banda de las señales digitales y pueden entonces transmitirse por canales convencionales de TV analógica y otros medios alternativos.

En el capítulo tres se retoman algunos principios de la digitalización de señales, así como también, parámetros de las señales de audio y video. Se definen conceptos básicos que se manejan en los esquemas de compresión de video (redundancia, histograma de brillo, etc.) y audio (sub-bandas y enmascaramiento). Sin mayores detalles se hace un desarrollo del sistema de compresión MPEG-2 (compresión de imágenes en movimiento) y MPEG para audio, los cuales llevan a cabo la codificación de fuente, es decir, eliminan la redundancia de información.

- En el capítulo cuarto una vez que las señales, de audio y video, son digitalizadas y comprimidas, se lleva a cabo la codificación de canal para canales convencionales de radiodifusión (6 MHz en el sistema americano, 7 y 8MHz en el europeo). También se analizan los sistemas ATSC y DVB, americano y europeo respectivamente, que representan los principalmente consorcios que desarrollan y proveen a nivel mundial sus sistemas.

Así mismo, se agrega un apartado que menciona los parámetros a considerar en una transmisión terrestre que permite analizar los siguientes efectos: potencia, ruido, interferencia, etc., presentes en cualquier sistema de comunicación. Además, introduce definiciones propias de los sistemas de comunicaciones digitales (BER, Eb/No, eficiencia de espectro, etc.) y que representan parámetros ha ser considerados en diferente medida por los tres sistemas de radiodifusión que se analizan (terrestre, cable y satélite).

- En el capítulo quinto la recepción de las señales DTV es una de las principales razones que ha motivado el desarrollo de nuevas tecnologías de televisión, debido principalmente a los actuales problemas de recepción que se presentan en el modo analógico tales como: distorsiones multirayectoria (fantasmas), el ruido, etc. De igual forma es importante conocer los formatos de resolución SDTV (TV digital estándar) y HDTV (TV de alta definición) los que se mencionan en este capítulo.

Se desarrollará este elemento de una manera análoga a lo hecho en el transmisor explicando la función específica de cada bloque de la cadena receptora.

Para llevar a cabo la recepción DTV ha sido considerado un periodo de transición que permita un cambio paulatino de tecnología por lo que la industria ha desarrollado un módulo de recepción llamado Set-Top Box para poder recibir las señales digitales en los televisores analógicos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

convencionales. Es en este módulo donde se lleva a cabo la decodificación de canal (demodulación, decodificación) y la decodificación de fuente (MPEG); y finalmente proporciona en su salida una señal analógica que puede ser interpretada por cualquier televisor analógico.

- En los últimos años hemos visto una transformación tecnológica, la cual no ha dejado fuera a la televisión, esa tecnología empezó a florecer comercialmente a finales de los años noventas, por lo que en el capítulo seis se dará un esbozo de la situación de la televisión digital en los países que van a la vanguardia, además como la televisión digital nos permite ampliar de forma considerable el servicio de difusión, ofreciendo servicios audiovisuales, servicios interactivos y servicios de Internet se hablará de la televisión interactiva, de lo que es una API, de plataformas existentes en televisión digital, así como de estándares que buscan ser compatibles con las diferentes plataformas, también se tocará el caso de la televisión en México y dentro de la situación mexicana tendremos el caso de la UNAM, principalmente con lo que realiza el grupo universitario en investigación de televisión digital. Finalmente se conocerán algunas organizaciones que contribuyen en la estandarización de esta tecnología.
- Finalmente se propone un temario para la asignatura de Televisión Digital en el capítulo 7, donde se detalla a nivel de bloques la estructura de dicha materia. Así mismo se presenta el temario conforme al formato manejado por la Facultad de Ingeniería.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 1 ¿Qué es la Televisión Digital?

1.1 Televisión Digital

La llegada de la televisión digital representa un cambio tan radical como el que supuso el paso de la televisión en blanco y negro a la televisión en color. Tiene por objetivos conseguir imágenes mejores, se van a abrir las puertas a la futura introducción de servicios hasta ahora inimaginables como la recepción móvil de televisión, la interactividad, la televisión a la carta o los servicios multimedia tan de moda hoy con la explosión de Internet.

Para definir a la televisión digital será necesario saber que es la TV analógica, es decir la TV tal como la conocemos hasta ahora, se puede definir como un sistema que permite la transmisión de imagen y sonido a través de un medio. La televisión digital o DTV es el equivalente digital del mismo fenómeno: la DTV es a la TV como el disco compacto es al disco de acetato.

La televisión digital permite televisión interactiva, mejor calidad y definición de imagen y sonido, recepción móvil y los mismos servicios de Internet. Se puede decir entonces que la televisión digital (DTV) es igual a Televisión más internet más Telecomunicaciones, en teoría mejor imagen, audio, interactividad, mayor oferta de canales, etc.

En la práctica la oferta de estos servicios depende de la norma técnica y a la conveniencia de la gente del negocio. Hasta ahora hay tres sistemas importantes de DTV disputándose el mercado global.

- A) ATSC (Estados Unidos, Corea, Canadá, entre otros) no permite la recepción móvil y sólo ofrece una muy cuestionada Televisión de Alta Definición (HDTV). Todo el énfasis de este sistema esta puesto en la extrema calidad de imagen de la HDTV.
- B) El DVB (Inglaterra, Australia, India) ofrece una imagen de alta definición estándar (no tan buena como la HDTV) pero es de uso más flexible que el sistema norteamericano. En Inglaterra donde goza de generosos subsidios estatales que probablemente no se repitan en el tercer mundo, tiene un millón de usuarios.
- C) El ISDB es un sistema japonés que aún no ha sido implementado en Japón. En Brasil y China para aprovechar sus populosos mercados locales, se habla de desarrollar sistemas propios a partir de este sistema japonés, cuyo potencial práctico ha sido poco difundido hasta el momento.

Hay un gran interés por el paso de la televisión analógica a la televisión digital porque quedaría libre un amplio sector del espectro radioeléctrico. Lo anterior dado que la televisión digital permite que la misma onda del espectro electromagnético que sólo servía a un canal de TV analógico ahora sirva para 4 ó 6 canales, según la norma que se utilice.

El detalle importante para entender la presión internacional y corporativa sobre este tema es que parte de ese mismo espectro puede ser explotado por las nuevas tecnologías de telecomunicaciones.

Tras unos años de revolución tecnológica en el mundo de las telecomunicaciones en general, sin duda, lo que ha permitido comenzar la revolución en el mundo de la televisión ha sido por un lado la viabilidad de la puesta en práctica de las ideas acerca del tratamiento digital de la señal de televisión y por otra parte, el desarrollo de estándares de codificación y transmisión.

Actualmente la televisión digital no es ampliamente utilizada en el campo de la televisión comercial debido a ciertos problemas de ancho de banda, sin embargo estos problemas están siendo superados. La televisión digital en sus inicios ha sido explotada en el campo de las investigaciones aeroespaciales, en el estudio de la luna y otros planetas en el cual ha sido exitoso. También fue un éxito en los sofisticados sistemas armados de vigilancia y como defensa para el área militar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estás y otras técnicas han sido factores que han impulsado el desarrollo de la televisión digital, permitiendo el almacenamiento y transporte de la señal de televisión digital con un mínimo uso de recursos.

1.2 ¿Por qué digital?

Hablando un poco del tipo de señal que se utiliza en la codificación digital es una serie de bits de datos, que es un impulso que sólo tiene la posibilidad en uno o dos estados: o está presente, o está ausente. Dentro de ciertos límites el tamaño y la forma precisa del impulso no es importante. Por lo tanto un sistema que utilice señales digitales, sólo necesita detectar los impulsos para reproducir las señales primitivas. Estas señales, por consiguiente, no resultan distorsionadas por aquellos factores o elementos que afectan a la señal analógica, cuya amplitud precisa y relaciones de fase deben ser conservadas con objeto de que la señal no se distorsione. La precisión con la que una señal analógica puede ser procesada esta determinada por la calidad de los componentes del sistema, mientras que la de una señal digital está limitada por el número de bits y las operaciones utilizadas para que el proceso se realice.

Al contrario que el equipo analógico, cuyo funcionamiento esta sujeto a variación y ajuste, el equipo digital funciona a partir de conmutaciones siendo las imágenes estables e inmunes a las variaciones de nivel o de fase.

Hasta ahora surge una pregunta que se hace inevitable, ¿por qué digital?. Existen varias razones:

- A. Debido a que las señales digitales se regeneran electrónicamente de un modo fácil, el mantenimiento de calidad de la señal se consigue con precisión y con independencia de la complejidad del equipo, que por otra parte no estará sometido a los ajustes y aspectos típicos de la electrónica analógica.
- B. Determinados procesos de la señal de televisión no son posibles en el dominio analógico como son la memorización de líneas y cuadros que han dado origen a un riquísimo mundo operativo y artístico y a una amplia manipulación electrónica de las señales.
- C. En gran número de casos los procesos digitales son más económicos que los correspondientes analógicos.
- D. Con las nuevas técnicas de compresión o reducción de flujo binario se economiza en cinta, disco, ancho de banda, etc.
- E. La elevada resolución espacial de un sistema de televisión permite un realismo mayor, que se puede apreciar en una pantalla más grande.
- F. Se puede ofrecer un sonido con calidad de disco compacto.
- G. Abre las puertas del hogar a la sociedad de la información, debido a que permite la convergencia televisión-computadora personal. El televisor pasará a convertirse en una terminal multimedia que podrá admitir datos procedentes de los servicios de telecomunicaciones, suministrando servicios de valor agregado como correo electrónico, cotizaciones de bolsa, videoteléfono, guías electrónicas de programas, banco en casa, tienda en casa, etcétera.
- H. Una vez digitalizadas, las señales pueden almacenarse en una memoria digital tanto tiempo como se desee, así como ser procesadas. Las señales pueden ser escritas y leídas a diferentes velocidades, en mayor o menor tiempo, comprimidas e incluso leídas en orden diferente en que han sido grabadas. Esto ha hecho posible todos los nuevos efectos visuales de hoy día.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3 Panorama Histórico

Hacia los comienzos de la década de los 70 a los japoneses se le ocurrió la idea de tener en la pantalla del televisor una imagen con calidad similar a la del cine. Para resolver este reto la NHK (Nippon Hoso Kyokai) se hizo al camino en la búsqueda de la televisión de alta definición y fue así como los ingenieros de esta empresa, bajo la dirección del Dr. Takashi Fujio sentaron las bases de esta tecnología. Este grupo de trabajo demostró en público su invento en la SMPTE en San Francisco, en Febrero de 1981, y para 1984 presento a los ojos del mundo el sistema de transmisión de alta definición analógica llamado MUSE (Multiple Sub Nyquist Sampling Encoding), el cual se puso al aire a comienzos de 1987 utilizando un ancho de banda de 12 MHz. Los anteriores hechos causaron gran alarma entre los diversos sectores de la televisión norteamericana y la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) fue presionada para que iniciará de inmediato los estudios y programas necesarios que salvaguardaran los intereses de la economía que se vería en desventaja ante el avance tecnológico del Japón. Fue así como de dicha agencia organizó el comité encargado del asunto, el cual se llamó ACATS (Advisory Committee on Advanced Television Service, Comisión Asesora sobre servicios de televisión avanzada). La NAB (National Association of Broadcasters) solicitó a la NHK que desarrollara un sistema que solo ocupara un ancho de banda de 6 MHz, o sea un canal normal de televisión, y el resultado fue la aparición del Narrow (angosto) MUSE.

Funcionarios de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), cadenas emisoras de televisión, fabricantes y académicos trataban de crear un estándar digital que no dejara inmediatamente anticuados los televisores existentes. El nuevo sistema opera ahora sobre todo en la banda de 470 a 890 MHz (canales 14 a 83) y en frecuencias UHF. El nuevo y el antiguo sistema deberán coexistir hasta el 2006, en que deben cesar las emisiones de señales NTSC, tanto en la banda de 54 a 216 MHz (canal 2 al 13), como en frecuencias UHF y VHF. La FCC reasignará entonces dichos canales a la televisión digital.

En 1988 la ACATS pidió a las industrias, universidades y laboratorios que propusieran normas para la televisión digital.

En marzo de 1990 la FCC dio un paso fundamental. Decidió que el servicio de televisión avanzada se daría en régimen de difusión simultánea con el servicio convencional, y no el régimen de compatibilidad de receptores (este último fue el enfoque que se siguió al introducir la televisión en color, en que la señal debería poderse ver tanto en televisores en color como en blanco y negro). En el régimen de compatibilidad de receptores, la señal de televisión de alta definición (HDTV) podía captarse y visualizarse en los receptores actuales convencionales. Pero la señal de HDTV requiere mucha más información que una señal de color, por lo que el receptor exigiría un canal suplementario para introducir la información adicional (otro canal de 6 MHz).

No obstante persiste el inconveniente de que los televisores actuales no pueden recibir una señal HDTV. Para evitar que estos televisores se quedaran de repente inservibles, la FCC asignó un nuevo canal por servicio a cada una de las 1500 estaciones de Estados Unidos que lo solicitasen. Durante un periodo de transición la FCC exigiría que el mismo programa fuera transmitido simultáneamente (o con muy poco retraso) tanto por HDTV, como por NTSC. Cuando una gran parte del país ya utilizase la HDTV, como parte de la NTSC, y la porción de espectro que ocupaba se utilizaría para nuevos canales HDTV u otros servicios.

Esta decisión tuvo una repercusión decisiva en el desarrollo de una norma para la HDTV. Poco después comenzaron a recibirse propuestas para sistemas HDTV, y las ACATS y la FCC decidieron someter a evaluación cinco propuestas técnicas: una analógica y cuatro digitales. Estas propuestas técnicas se analizaron en el Centro de Pruebas de Televisión Avanzada de Alejandria, mientras que la calidad de la imagen se evaluaba en el Laboratorio de Evaluación Avanzada de Ottawa.

La ACATS llevó a cabo un panel especial entre el 8 y el 11 de Febrero de 1993 donde se tomaron tres grandes decisiones, tal vez la más importante fue la conclusión de que una nueva televisión no podía ser analógica, pues el Narrow MUSE había demostrado que era inconveniente por la calidad de la imagen entregada, la cantidad de señales que podía contener y el cubrimiento que podía dar. Aunque esta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

determinación puso fuera al sistema nipón, la NKH continuó contribuyendo en el desarrollo del sistema de televisión digital norteamericano ATV (Advanced TV) y su hija la HDTV o televisión de alta definición. La ACATS tras revisar los resultados llegó a la conclusión de que los cuatro sistemas digitales superaban en prestaciones al analógico. A su vez cada uno de los cuatro sobresalía en distintos aspectos. Así que la ACATS animó a los promotores a que organizaran en solo sistema los elementos mejores de los cuatro y lo sometieran a evaluación.

En mayo de 1993 se constituyó la gran Alianza, un consorcio integrado por AT&T, Zenith, el centro de investigación de David Sarnoff, General Instrument Corporation, el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), Philips Electronic North America, y la francesa Thomson Consumer Electronics.

Entre 1993 y 1994 la Gran Alianza introdujo mejoras en los elementos técnicos de los cuatro sistemas y creó un prototipo de HDTV, la comisión de Sistemas de Televisión Avanzada (consorcio de industrias) creó un estándar técnico.

Para poder transportar en un canal de 6MHz (aproximadamente 20 Mbps) toda la información de una imagen de alta definición es necesario comprimir los datos ya que de no hacerlo se necesitaría del orden de Gbps. La propuesta de la gran alianza se basó en el sistema MPEG2.

La clave de la compresión según el sistema MPEG consiste en no enviar las imágenes completas (como en NTSC), sino sólo los cambios entre dichas imágenes, el resultado es que se necesitan mucho menos datos para actualizar una imagen. Los datos comprimidos de video, audio y otros se multiplexan formando una sola sucesión de bits. Esta sucesión de bits modula una señal que se transmite por radiodifusión terrestre.

En recepción la señal se capta por una antena y se envía a un receptor, que demodulará la señal para obtener la sucesión de bits original. Estos bits se desmultiplexan y se recuperan los datos comprimidos para pasar a descomprimirlos a continuación.

En noviembre de 1995 la ACATS recomendó a la FCC el estándar elaborado por la Comisión de Sistemas de Televisión Avanzada, y ésta lo aceptó en 1996 salvo por un detalle. Suavizó la restricción de la norma en la que se limita a ciertos formatos de resolución de video autorizados.

A principios de 1997 la FCC añadió otras disposiciones en apoyo del nuevo estándar técnico, como por ejemplo la asignación de canales. El cambio a la nueva modalidad ocurrió a finales del año 1998. El sistema que se mantiene vigente hasta entonces, fue establecido en los años cuarenta y cincuenta por la Comisión Nacional de Sistemas de Televisión (NTSC). El cambio ha seguido un proceso lento y a menudo muy controvertido.

Capítulo 2 Fundamentos

2.1 Sistema visual humano

El objetivo de este subtema es presentar de forma básica las principales características del sistema visual humano y su relación con el diseño de sistemas de procesamiento de imágenes.

Un requisito primordial en los sistemas de comunicación visual, es el conocimiento del sistema visual humano. A través de este conocimiento, se pueden diseñar de forma más eficiente los sistemas de mejora y restauración de imagen, transmisión y almacenamiento, adquisición, visualización y en general de todos los sistemas que tengan como objetivo final la presentación de una imagen a un espectador.

El sistema visual humano (SVH) consiste en dos niveles bien diferenciados. El primero es el nivel periférico que transforma la luz en señales neuronales. El segundo es el nivel central que procesa las señales neuronales y las convierte en información visual. El nivel periférico, del cual se tiene un conocimiento bastante detallado, está formado por el ojo. El nivel central, del cual se tiene sólo conocimiento aproximado, está formado por las partes del cerebro relacionadas con la conversión de señales neuronales en información visual.

El ojo es el principio del sistema visual y consiste básicamente en una esfera de 2 cm. de diámetro que recoge la luz y la enfoca en su superficie posterior. La Fig. 2.1 muestra una sección horizontal del ojo de forma muy esquemática

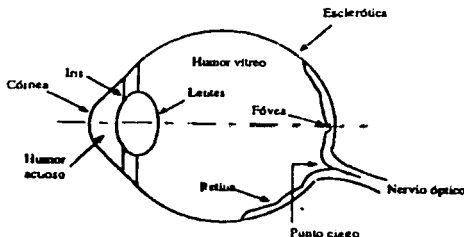


Fig. 2.1 Sección horizontal del ojo humano

La parte del ojo que está en contacto con el exterior se denomina córnea, la cual es una membrana transparente cuya función principal es refractar la luz incidente. Tiene una forma redondeada que actúa de forma similar a la lente convexa de una cámara. Detrás de la córnea se encuentra un líquido claro llamado humor acuoso. A través de la córnea y del humor acuoso se observa el iris. El iris controla la cantidad de luz que entra en el ojo cambiando el tamaño de la pupila, un pequeño orificio circular situado en su centro. El iris es también responsable del color de los ojos. Detrás del iris se encuentra la lente. La lente consiste en muchas fibras transparentes, situadas en el interior de una membrana elástica y transparente.

El objetivo principal de la lente es enfocar la luz incidente en una zona del fondo del ojo llamada retina. Detrás de la lente se encuentra el humor vítreo que es una sustancia gelatinosa transparente adaptada óptimamente. Esta adaptación que la luz enfocada por la lente no sufre ninguna desviación. El humor vítreo llena todo el espacio entre la lente y la retina y ocupa alrededor de 2/3 del volumen del ojo. Detrás del humor vítreo se encuentra la retina. Sobre ella es donde se enfoca la luz incidente que se convierte en señales neuronales mediante células sensibles a luz.

Existen dos tipos de células sensibles a la luz situadas en la retina. A causa de su forma, estas células se denominan conos y bastones. Los conos se concentran en una región cerca del centro de la retina llamada fovea. Su distribución sigue un ángulo de alrededor de 2° contados desde la fovea. La cantidad de conos es de 6 millones y algunos de ellos tienen una terminación nerviosa que va al cerebro. Los conos son los responsables de la visión del color y se cree que hay tres tipos de conos, sensibles a los colores rojo, verde y azul respectivamente. Los conos, dada su forma de conexión a las terminales nerviosas que se dirigen al cerebro, son los responsables de la definición espacial. Son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan visión fotópica. Los bastones se concentran en zonas alejadas de la fovea y son los responsables de la visión escotópica.

Todo lo anterior es de vital importancia en el estudio y diseño de sistemas de comunicación visual, tal es el caso del color, pues la utilización del mismo en la visualización de imágenes no es únicamente más agradable sino que nos permite apreciar más información visual. El sistema visual humano es capaz de distinguir únicamente alrededor de 50 niveles de gris simultáneamente, en cambio, puede distinguir varios colores. Los atributos perceptuales del color son: brillo, tinte y saturación. El brillo representa la luminancia "percibida". El tinte de un color nos indica su "tono", es decir, si el color es rojo, verde, etc. La saturación nos indica la cantidad de luz blanca que esta mezclada con el color en cuestión e indica de alguna manera la "viveza" del color.

Otro efecto al tener muy en cuenta es la ilusión de movimiento al presentar ante el ojo una rápida sucesión de imágenes; en el caso de la televisión distinguimos las imágenes porque el ojo es incapaz de apreciar el movimiento a gran velocidad de un punto brillante sobre la superficie de una pantalla. Esta ilusión es posible gracias al fenómeno de persistencia de la visión, que hace que el ojo no aprecie el desplazamiento del punto que se mueve rápidamente, el fenómeno aludido hace que la imagen persista en el cerebro una fracción de segundo después de que el punto ya se ha desplazado a otro lugar.

La persistencia de la visión también llamada persistencia en la retina, es el tiempo que tarda el cerebro en eliminar la información suministrada. Existen unos límites dentro de los cuales el ojo aprecia este "engaño" lo que se traduce en un parpadeo de la imagen recibida; el ojo aprecia las imágenes formadas por un punto brillante con sensación de continuidad, cuando la frecuencia con que se repiten estas imágenes "completas" es de, aproximadamente, 16 veces en un segundo (16 hertz). A esta frecuencia, el parpadeo a que hacemos referencia es notorio, desapareciendo por completo a una frecuencia de unos 48 hertz.

La persistencia de la visión es el fundamento fisiológico que posibilita la existencia de la televisión. Las imágenes, en este medio excepcional, están formadas por el desplazamiento zigzagueante, de izquierda a derecha y de arriba debajo de un punto que las conforma.

2.2 El sistema auditivo humano

La audición es el resultado de una serie de procesos acústicos, mecánicos, nerviosos y mentales dentro de la combinación oído-cerebro que dan a una persona la impresión de sonido.

El oído se divide en tres zonas, llamadas oído externo, oído medio y oído interno, de acuerdo a su ubicación en el cráneo. El oído externo es la parte del aparato auditivo que se encuentra en posición lateral al tímpano. Comprende la oreja y el conducto auditivo externo, que mide tres centímetros de longitud. Véase Fig. 2.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

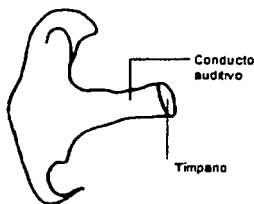


Fig. 2.2 Sistema Auditivo Humano

El oído medio se encuentra situado en la cavidad timpánica llamada caja del tímpano, cuya cara externa **esta** formada por el tímpano, que lo separa del oído externo. Incluye el mecanismo responsable de la **conducción de las ondas sonoras** hacia el oído interno.

Hay una cadena formada por tres huesos pequeños y móviles que atraviesa el oído medio, **estos tres huesos** reciben los nombres de martillo, yunque y estribo. Los tres conectan acústicamente el tímpano con el oído interno, que contiene un líquido.

El oído interno, o laberinto, **se encuentra** en el interior del hueso temporal que contiene los órganos auditivos y del equilibrio. Esta separado del oído medio por la ventana oval. El oído interno consiste en una serie de canales membranosos alojados en una parte densa del hueso temporal, y **está** dividido en: cóclea (en griego, "caracol óseo"), y vestibulo y tres canales semicirculares (véase Fig. 2.3). Estos tres canales se comunican entre sí y contienen un fluido gelatinoso denominado endolinfa.

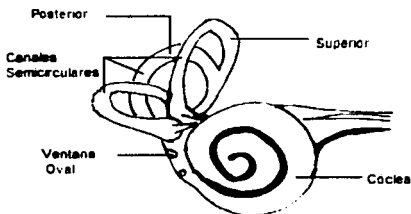


Fig. 2.3 Oído interno

El oído analiza con bandas de frecuencia, conocidas como bandas críticas. Los anchos de bandas críticas dependen de la frecuencia. Por debajo de los 500 hertz, el ancho de banda crítico es aproximadamente constante, mientras que arriba de dicho valor crece en proporción a la frecuencia.

En el rango audible de 20 Hz a 20 KHz. se encuentran 25 bandas críticas adyacentes, numeradas en forma consecutiva.

En la Tabla 2.1 se muestran los valores que definen las primeras 24 bandas críticas, las cuales se han convertido en un estándar para describir la distribución de las bandas en función de la frecuencia.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

No. de banda crítica	Frecuencia Central (Hz)	Frecuencia Superior (Hz)	Ancho de la Banda crítica (Hz)
1	50	100	100
2	150	200	100
3	250	300	100
4	350	400	100
5	450	510	110
6	570	630	120
7	700	770	140
8	840	920	150
9	1000	1080	160
10	1170	1270	190
11	1370	1480	210
12	1600	1720	240
13	1850	2000	280
14	2150	2320	320
15	2500	2700	380
16	2900	3150	450
17	3400	3700	550
18	4000	4400	700
19	4800	5300	900
20	5800	6400	1100
21	7000	7700	1300
22	8500	9500	1800
23	10500	12000	2500
24	13500	15500	3500

Tabla 2.1 Distribución de las bandas críticas en función de la frecuencia.

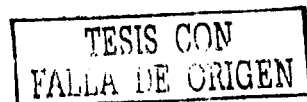
2.2.1 Campo auditivo

Se define como umbral de audibilidad, para un tono puro de una frecuencia dada, a la mínima presión sonora eficaz que puede ser oída, en ausencia de todo ruido de fondo. El umbral auditivo representa la presión sonora mínima que produce la sensación de audición.

En el campo auditivo el rango de frecuencia audible va de los 20 Hz a los 16 KHz, pero el oído no es igualmente sensible a todas estas frecuencias. Las más audibles son las ubicadas en el centro del espectro, aproximadamente entre 1 KHz y 5 KHz.

El oído es menos sensible para frecuencias bajas y altas. Esta característica de menor agudeza para los tonos graves favorece el enmascaramiento de los sonidos que produce el cuerpo humano.

Se denomina enmascaramiento a la reducción total o parcial de la sensibilidad de un oyente para percibir un determinado sonido, provocado por la presencia simultánea de otro. Cuando un sonido hace que otro sea menos audible, porque ambos se producen al mismo tiempo, se dice que se produjo un fenómeno de enmascaramiento. El sonido cuyo umbral de audibilidad se ha modificado se denomina sonido enmascarado y al otro, sonido de enmascaramiento.



2.3 Descripción básica de un sistema de televisión analógico

Entendemos por televisión a la transmisión y recepción a distancia de imágenes en movimiento. El sistema está fundado en el fenómeno fotoeléctrico que permite transformar las radiaciones luminosas en corriente eléctrica. A partir de esta transformación se hace posible la codificación y el transporte de la señal hasta un receptor donde se produce la decodificación y nueva transformación de la corriente eléctrica en imagen visible como se muestra en la Fig. 2.4



Fig. 2.4 Esquema básico de un sistema de TV

La transformación de la luz en energía eléctrica es posible gracias a la existencia de sustancias como el cesio, litio, selenio y otras que se caracterizan por desprender electrones en cantidad proporcional a la luz que reciben y que son las sustancias base de las llamadas células fotoeléctricas; se producen principalmente, dos tipos de reacciones a la luz por parte de estos materiales fotosensibles: la generación de una tensión eléctrica o la variación de la resistencia de un circuito previo, todo ello en función de la intensidad luminosa que reciben.

Un sistema de televisión comienza por la imagen óptica de la escena a transmitir que es captada por el objetivo de la cámara que es proyectada contra un mosaico fotosensible; éste desprenderá electrones en forma proporcional a la intensidad de luz recibida. La imagen óptica estará constituida por pequeñas áreas de luz y de sombra o elementos de imagen. La definición final será tanto mayor cuanto más diminutos y numerosos sean estos elementos que conforman la imagen.

A partir de la imagen proyectada sobre el mosaico fotosensible se producirá, en el tubo de la cámara, la transformación de la imagen en impulsos eléctricos mediante la exploración de un haz de electrones proveniente del cañón de electrones.

Desde el cañón de electrones se lanza un chorro de electrones contra cada uno de los diminutos elementos de imagen que componen la cara posterior del mosaico fotosensible. El movimiento del haz es ordenado y repetitivo, leyendo en forma de líneas, de izquierda a derecha y de arriba abajo.

El proceso de exploración y análisis de los elementos de imagen presentes en el mosaico fotosensible se efectúa en la forma siguiente: un haz electrónico proveniente del cañón de electrones barre los elementos de imagen siguiendo un orden de izquierda a derecha y de arriba abajo tal como se leen las páginas de un libro. Cuando el haz termina la exploración de una línea, vuelve rápidamente a la siguiente hasta completar todas las líneas de una imagen.

Una vez que ha terminado de leer la última línea vuelve de abajo a arriba para comenzar de nuevo en la línea primaria. Este es el principio de la exploración sucesiva.

Gracias a la existencia de la persistencia en la retina es posible transmitir 30 lecturas completas de imagen en cada segundo, consiguiéndose así, la sensación de movimiento. Tomando en cuenta que a 30 cuadros por segundo, continuaría existiendo un parpadeo que desaparecería por completo a la frecuencia de repetición de 48 hertz. Para superar este parpadeo se adopta la exploración de un haz de electrones 30 cuadros o lecturas completas de imagen en un segundo, previa descomposición de cada cuadro en dos semicuadros o campos de imagen. El haz de electrones lee primero las líneas impares y posteriormente las líneas pares; así, en una fracción de 1/60 de segundo se exploran y reproducen las líneas impares y en otro 1/60 de segundo, las líneas pares. De esta forma, se alcanza una frecuencia de repetición de



campo de 60 semimágenes por segundo que elimina definitivamente el parpadeo sin que cambie el número de cuadros de imagen, cada uno de los cuales se producirá en 1/30 de segundo. Es la exploración entrelazada.

Todos los elementos que conforman un sistema de televisión deben estar perfectamente sincronizados entre sí para que exista una correspondencia exacta en el tiempo entre lo que capta la cámara y lo que reproduce el tubo del televisor. Esta correspondencia se obtiene gracias a la incorporación en la señal de vídeo de una serie de sincronismos. Existen, básicamente, cinco tipos de sincronismos, Tabla 2.2. La lectura de una línea comienza previa generación de un impulso de sincronismo horizontal que marca el inicio de lectura de cada línea horizontal. Cuando se termina de leer un campo (262.5 líneas en norma NTSC) actúan unos impulsos de sincronismo ecualizadores o igualadores cuya misión es la de homogeneizar las condiciones que preceden y siguen a los impulsos de sincronismos vertical, para conseguir una perfección en el entrelazado.

Los impulsos de sincronismo vertical marcan el inicio de cada período de exploración vertical y son llamados también, impulsos de campo por ser quienes ordenan el comienzo de cada semicuarto. Todavía quedan dos tipos de impulsos: los de barrido horizontal y los de barrido vertical cuya misión consiste en hacer desaparecer la imagen de retorno de una línea a la siguiente y de un campo al siguiente respectivamente, evitando, así, la transmisión de ese retorno que aparecería como señal espúrea en la recepción.

Impulsos de sincronismo horizontal	Marcan el comienzo de cada línea
Impulsos de sincronismo vertical	Marcan el comienzo de cada campo
Impulsos de borrado horizontal	Extinguen el haz en su retorno de final de línea hasta el comienzo de una nueva línea
Impulsos de borrado vertical	Extinguen el haz en retorno de final de campo hasta el comienzo en un nuevo campo
Impulsos de ecualización	Homogeneizan las condiciones que preceden y siguen a la generación de impulsos de sincronismo vertical.

Tabla 2.2

Los impulsos de sincronismo son generados por circuitos que guardan relación con la frecuencia de la red eléctrica (50 Hz en Europa, 60 Hz en América). La coincidencia entre la frecuencia de red y la frecuencia de campo facilita el control del oscilador mediante la misma tensión de alimentación del receptor. La frecuencia de campo es de 60 Hz (60 campos en un segundo).

Entre quienes se introducen en el medio televisivo surge, frecuentemente, la duda de por qué entrelazar las líneas de dos campos sucesivos para obtener una imagen completa cuando ésta podría conseguirse, con todas sus líneas, a partir de un solo barrido, doblando simplemente la frecuencia. Es una buena pregunta: ¿por qué recurrir a la exploración entrelazada leyendo primero las líneas impares y posteriormente las líneas pares de los elementos de la imagen? La respuesta es que cualquier aumento en la velocidad de deflexión horizontal exige un aumento en el ancho de banda, además de una mayor complejidad en la circuitería del sistema. El espacio de radiofrecuencia es limitado y cualquier cambio que aumente el ancho de banda debe ser desechado.

Un cuadro de televisión es el resultado de la exploración completa de todos los elementos de imagen que componen el mosaico fotosensible sobre el que se enfoca la escena. Es, por tanto, la imagen completa que resulta de la exploración de todas las líneas impares y pares. La frecuencia de repetición de cuadro es de 30 Hz y tiene un lugar en 1/30 de segundo (Norma NTSC).

Un campo es cada una de las dos exploraciones parciales (bien sea líneas impares o líneas pares) que componen un cuadro. Cada campo consta de la mitad de líneas de un cuadro (262.5 líneas en los sistemas de 525 líneas). Dos campos constituyen un cuadro como se muestra en la Fig. 2.5. La frecuencia de repetición de campo es de 60 Hz y tiene lugar en 1/60 de segundo (norma NTSC).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

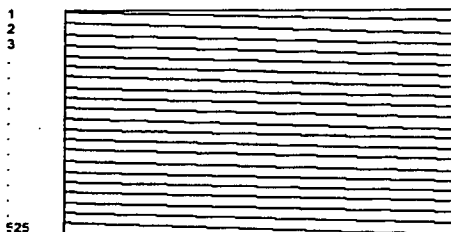


Fig. 2.5 Proceso de exploración de imagen

Efectivamente, un campo es el conjunto de la mitad de las líneas que conforman un cuadro de imagen. El campo uno está formado por las líneas pares y el campo dos por las líneas impares. En el sistema NTSC cada campo está formado por 262.5 líneas que al ser exploradas de forma entrelazada evitan el parpadeo de la imagen. De forma análoga, en televisión estos avisos se presentan como pulsos eléctricos y se les conoce como sincronías horizontal y vertical, existen además, otros dos pulsos llamados de borrado horizontal y vertical cuya función es desactivar el haz de electrones cuando éste regresa para posicionarse al inicio de la siguiente línea de imagen. A través de ellos el emisor indica al receptor la forma exacta en que debe realizar los barridos electrónicos para que la imagen reproducida sea fiel a la originalmente transmitida.

2.3.1 Propiedades de la imagen

Una imagen fija es fundamentalmente una ordenación de muchas áreas pequeñas oscuras y luminosas. En una impresión fotográfica los granos finos de plata proporcionan las diferencias en cuanto a la luz y sombra necesarias para reproducir la imagen.

Cada área pequeña de luz y sombra es un elemento de imagen o detalle de imagen llamado píxel. Todos los elementos juntos contienen la información visual de la escena. Si son transmitidos y reproducidos con el mismo grado de luz o sombra que el original y en la posición correcta, se producirá la imagen.

La imagen reproducida debe poseer también alto brillo, fuerte contraste y detalle agudo, y las proporciones correctas de altura y anchura. Estos requisitos son aplicables tanto en blanco y negro o monocromía como en color intenso, o saturación, con los tintes o matices correctos.

El brillo es la intensidad global, o media de iluminación y determina el nivel de fondo en la imagen reproducida. Los elementos individuales de imagen pueden variar entonces en más y menos con respecto a este nivel medio de brillo.

El contraste significa diferencia de intensidad entre las partes negras y blancas de la imagen reproducida. El margen de contraste debe ser suficiente para producir una imagen fuerte o intensa, con blanco brillante y negro oscuro para obtener los valores extremos de intensidad.

La cantidad de detalle, también llamada resolución o definición, depende del número de elementos de imagen que pueden ser reproducidos. Con muchos pequeños elementos de imagen se evidencian detalles finos de ésta. Por consiguiente, deben ser reproducidos tantos elementos de imagen como sea posible para que la definición de imagen sea buena. Esta calidad de la imagen sea bien perceptible y clara. Pueden verse pequeños detalles si los objetos de la imagen aparecen agudamente definidos o

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

contorneados. Una buena definición dará también una profundidad aparente en la imagen haciendo visible los detalles de fondo.

Lo que generalmente se denomina color de un objeto es más estrictamente su matiz o tinte.

La relación entre la anchura y la altura de cuadro de imagen es lo que se llama relación de aspecto. Esta normalizado en 4:3, de modo que la anchura de la imagen es igual a la altura multiplicada por 1.33.

2.3.2 Normas de televisión

Existen organismos que dictan y aconsejan el seguimiento de normas que rigen las condiciones de transmisión y recepción de los programas de televisión. Generalmente, las normas hacen referencia a valores tales como: emisión en VHF o en UHF, número de líneas por imagen, frecuencia de cuadro, frecuencia de línea, ancho de banda, modulación de video, modulación de sonido, etcétera. El estándar americano es la referencia para la creación posterior del sistema NTSC.

1. Se utiliza la frecuencia de la red eléctrica que en América es de 60 Hz mientras que en Europa es de 50 Hz.
2. Es el resultado de multiplicar el número de líneas de un cuadro por los cuadros o imágenes completas que tienen lugar en un segundo, ejemplo: $625 \times 25 = 15,625$.
3. Hace referencia a las dimensiones normalizadas de la pantalla de un televisor. Un televisor cuya pantalla tuviese 40 cm. en el sentido horizontal tendría 30 cm. en el sentido vertical.

Desde que en el año 1953 se introdujo en Estados Unidos el primer sistema de televisión, el NTSC (National Television System Committee), han aparecido dos nuevos sistemas, con algunas variantes, que han complicado todavía más el panorama televisivo al ser incompatibles entre sí. En el año 1967 se implantó en Francia el sistema SECAM (Séquentiel Couleur à Memoire) que fue adoptado por muchos países de la Europa del Este y del África francófona. En 1963, los laboratorios Telefunken en Alemania, desarrollaron el sistema PAL (Phase Alternative Line) como un refinamiento en la reproducción del color del primitivo sistema NTSC. El PAL ha gozado de amplia implantación. En 1962 la UER (Unión Europea de Radiodifusión) creó una comisión encargada de elegir un sistema de color para Europa. Desde el punto de vista de la calidad técnica podría haberse adoptado cualquier sistema de los existentes pero, finalmente, la cuestión se convirtió en un asunto político. Hoy día Europa, Francia y los países del Este utilizan el sistema SECAM y el resto han adoptado el sistema PAL. Ante el desigual reparto mundial de los diferentes estándares y sistemas de televisión, es muy frecuente la recurrencia a la conversión de normas en el intercambio de programas entre diferentes países, sin embargo ésta conlleva una cierta degradación de la señal. El futuro de la radiodifusión directa por satélite se ve afectado por esta situación de incompatibilidad entre diversos sistemas, lo que implica un desembolso económico ante la necesidad de disponer de aparatos trinormas.

2.3.3 La señal NTSC en color

En este apartado, se explicará los pasos que tuvieron que darse para incorporar la información cromática a la señal NTSC en blanco y negro.

Durante sus investigaciones sobre la naturaleza de los colores, Isaac Newton descubrió que la luz blanca no era más que el resultado de la combinación de diversas frecuencias elementales, a saber: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta e Indigo. Sin embargo, estudios posteriores demostraron que sólo se necesitaban tres: el rojo, el verde y el azul (colores primarios) para obtener todos los demás. Precisamente, cuando se realizaron las primeras pruebas para añadir color a la señal de televisión, se empleó un método que se apoyó en estos fundamentos teóricos.

Para capturar imágenes en color, en la cámara fueron conectados tres tubos independientes encargados de explorar, respectivamente, cada uno de los colores primarios en los que pueden ser descompuestas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

las imágenes. Para ello, se colocó un filtro de color en cada uno de estos dispositivos sensores, permitiendo el paso exclusivamente de la luz del color asociado, obteniéndose de esta manera tres señales de video independientes, similares a la de blanco y negro pero representando sólo las variaciones observadas en el color correspondiente; a las señales obtenidas por este procedimiento se les llamó RGB (por las siglas en inglés de Red=rojo, Green=verde y Blue=azul); posteriormente, al ser mezcladas las tres en una sola señal podía obtenerse una imagen cromática; además, se descubrió que mezclando las señales RGB en proporciones exactas, se podía reproducir la señal correspondiente al blanco y negro o luminancia, la cual recibió entonces el nombre de señal Y. No obstante, la señal de video en color obtenida presentaba algunos problemas relacionados con la reglamentación de la FCC (Federal Communications Commission) y el NTSC (National Television System Committee), organismos encargados, respectivamente, de administrar el espectro electromagnético y de definir el patrón al que debía sujetarse la televisión en Estados Unidos. Por una parte, la FCC no estaba dispuesta a facilitar un ancho de banda superior a los 6 MHz que había autorizado para la transmisión de la señal en blanco y negro, mientras que el NTSC obligaba a los diseñadores a trabajar sobre sistemas compatibles, esto es, a que la señal de video cromática pudiera ser captada por los televisores de blanco y negro, sin interferencias ni pérdidas de señal, reproduciendo solamente la parte de luminancia. Debido a estas limitaciones, el trabajo de los diseñadores se complicó notablemente. Sin embargo, pronto surgieron soluciones basadas en las limitaciones del ojo humano.

En primer lugar, como este órgano es incapaz de distinguir detalles de la imagen cuando son muy pequeños, fue posible disminuir considerablemente el ancho de banda para enviar la señal de video en color, sin pérdida apreciable de la calidad de imagen. Además, otras pruebas realizadas con voluntarios demostraron que en áreas relativamente pequeñas, el ojo puede distinguir la presencia o ausencia de color, pero no apreciar correctamente su tonalidad, de hecho, se descubrió que coloreando zonas de detalle con tonos que varían desde el anaranjado fuerte hasta el azul verdoso, el ojo por sí mismo realiza determinadas conversiones para asignar el tono que mejor se adapta al entorno. Basados en esos datos, los diseñadores decidieron incorporar la información cromática en forma de un vector, esto es, una línea que se identifica con un ángulo y una magnitud. Para incluir esta información dentro de la señal NTSC en blanco y negro sin que perdiera la compatibilidad con los televisores existentes, este vector se moduló en fase y amplitud con una frecuencia lo suficientemente alta para que no interfiriera con la señal blanco y negro normal (3.58 MHz) y se montó sobre la señal de video ya existente variándose ligeramente tanto la frecuencia horizontal como la vertical a fin de optimizar la mezcla de señales sin que cruzara información (la frecuencia vertical disminuyó a 59.94 Hz y la horizontal a 15.734 Hz). Y para evitar al máximo la interferencia con la información monocromática, se decidió enviar esta información de color sin su portadora, lo que obligó a los fabricantes de receptores de televisión a color a incluir un oscilador interno generando exactamente la frecuencia de 3.58 MHz. De igual modo, y con el fin de contar con una referencia para que este oscilador interno no se saliera de especificaciones, dentro del pulso de blanking en cada línea horizontal se incluyó una ráfaga de 9 ciclos a 3.58 MHz, los cuales sirven como sincronía de color (burst). Estas consideraciones fueron las que se contemplaron para llegar a la señal de video compuesto que hoy día se emplea para las transmisiones de televisión NTSC.

2.4 La técnica de la televisión digital

Las señales analógicas, tradicionales de televisión, llegan al espectador de dos formas. Bien por vía terrestre, es decir, las señales son transmitidas mediante una torre de televisión que se encuentra muy cerca del receptor (prácticamente al alcance de la vista); bien por cable o por satélite, no necesitando estas posibilidades de transmisión la misma cercanía espacial, aparte de ofrecer una mejor calidad de transmisión. Las señales digitales también pueden ser transmitidas por las vías utilizadas tradicionalmente.

Se entiende por digitalización de datos la transformación de vibraciones de un registro analógico en un código binario (ceros y unos), que se combina así en dígitos binarios ("bits"). Con un "byte", que agrupa a ocho "bits", se pueden distribuir por lo tanto 2 elevado a 8 (256) valores parciales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la posibilidad de transformar tanto señales acústicas como visuales, se anulan las diferencias entre audio y video. Los materiales almacenados que son necesarios para la producción de un programa de televisión, son mezclables e intercambiables unos con otros. La distribución de datos digitales, que a continuación detallaremos, ha dado lugar en EEUU al término Superautopistas de la Información.

La razón del cambio de la técnica de transmisión y almacenamiento analógica a la digital en televisión se debe por un lado, a la disminución de los gastos al transmitir y producir las ofertas y por otro, por la posibilidad de comprimir la información.

Durante un tiempo la ciencia opinaba que, si la televisión analógica era sustituida por la televisión digital, esta última no sería rentable ya que necesitaba bastante más espacio, más ancho de banda. Pero con los avances tecnológicos en "hardware" y "software" se puede reducir muchísimo este ancho de banda.

Para la reducción de la anchura de banda se utilizan diversos métodos de compresión y reducción de datos. Sin esta compresión o reducción, los datos digitalizados necesitarían mucho más espacio de almacenamiento, pero al comprimir por ejemplo con un coeficiente 100, solamente se necesita una décima parte de la capacidad de transmisión, con lo que se multiplica el espacio necesario para la misma (el ancho de banda).

La forma de reducción de datos que se utiliza actualmente describe, con la ayuda de la computadora, una imagen a base de matices de colores y contrastes. A una imagen le sigue la siguiente, que no es descrita de forma completamente nueva, sino sólo en lo relativo a las diferencias, no a lo idéntico. Si por ejemplo, en la imagen se produce un movimiento, éste se describe a base de cuadrángulos que dividen la imagen de conjunto. El proceso es similar al de dos imágenes cuyos contornos se superponen. Los contenidos de los contornos de la primera imagen, que ya han sido transmitidos, se omiten en los siguientes pasos comunicándose solo las diferencias. El método ha sido tomado del funcionamiento del propio ojo humano. Éste registra por ejemplo un paisaje y un coche que se mueve en él, pero al asimilar la información óptica se concentra solamente en el cambio inmediato que es producido por el movimiento del coche.

Al comprimir imágenes digitales se procede de manera similar; tampoco en la pantalla gráfica se registra siempre un movimiento complejo, sólo las pequeñas diferencias que provoca el movimiento necesitan gran capacidad de transmisión. El resto de la imagen que no ha cambiado, se puede transmitir con mucha menos energía.

Mediante este proceso se consigue disminuir datos innecesarios in que se produzca un déficit en la información (por ejemplo, ceros innecesarios después de la coma, en una calculadora de bolsillo), a la vez que se eliminan informaciones de manera irrecuperable sin que esto tenga influencia en el resultado. Con ello se logran importantes ahorros en los escasos recursos de transmisión.

2.4.1 Posibilidades de transmisión de servicios digitales

Las vías de transmisión son otro punto central de la técnica digital. Se trata de desarrollar sistemas (al margen del sistema standard industrial) que permitan recibir transmisiones digitales indistintamente por satélite, cable, teléfono o por emisoras terrestres. Se presenta el siguiente modelo básico para la transmisión de informaciones digitales. Ver Fig. 2.6

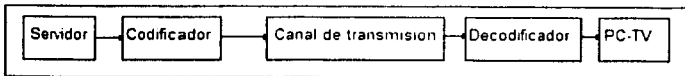


Fig.2.6 Modelo básico para la transmisión digital

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El servidor o almacén de datos, le pasa la información deseada al decodificador (por ejemplo, una película de 30 minutos sobre la anatomía del ser humano). El codificador extrae los datos que describen las informaciones físicas de esta película en su totalidad y éste mínimo de datos se transmite entonces al canal de transmisión.

La transformación digital de señales analógicas, permite distintas compresiones de datos, que a su vez permiten que en la anchura de banda de una vía de transmisión analógica, se instale no sólo en un canal, sino también dependiendo de la demanda y de la calidad de imagen deseada, entre 2 y hasta 10 canales. Pero ya no se transmite una señal de televisión discreta, como en los servicios de televisión analógicos, sino una corriente de datos compleja que puede ser configurada individualmente por el proveedor de programas ("service provider"). Puede contener por ejemplo, varios programas de televisión, servicios de datos e informaciones sobre servicios.

Pensamos que ya es posible llegar al mercado de masas con la técnica digital, utilizando las vías de transmisión que hasta ahora se habían utilizado analógicamente, el satélite, el cable y la vía terrestre. El problema actual consiste en la facilitación de un canal de retroalimentación para servicios multimedia de banda ancha, por ejemplo videoconferencias o teleenseñanza porque, para estas aplicaciones que suponen un contacto constante, se necesita un mayor ancho de banda. Para aplicaciones que requieren un menor grado de interacción, ya se utiliza en la actualidad el canal de retroalimentación telefónico.

2.4.2 La recepción de datos digitales

Para que el consumidor reciba los servicios de televisión digitales es necesaria una nueva transformación de los "bits" en una señal sonora y visual. Ésto se puede hacer ya en la emisión, cuando se trata de una transmisión por cable o en el aparato receptor. Mediante el proceso de decodificación se extraen del total de datos sólo aquellos que pueden ser reconocidos por el ojo y el oído humanos. Esto quiere decir que de la suma de los "bits" transmitidos se extraen aquellos que son necesarios para ser transformados en secuencias de sonido e imágenes. Un decodificador ("Set Top Box") o un TV-PC decodifica las columnas, renglones y números en una corriente de pequeños cuadrados del tamaño de 8 x 8 puntos. En estos cuadrados se encuentran entonces 64 puntos de imagen próximos. Cada uno representa por sí mismo un pequeño detalle de la imagen televisada. Así se pueden comparar los contenidos de los puntos de imagen próximos, circunstancia decisiva para todos los pasos de la compresión.

El "Set Top Box" es necesaria tanto para la recepción como también para el potencial acoplamiento del receptor. Los "Set Top Boxes" que en la actualidad se utilizan son las necesarias para la decodificación de programas de televisión de pago y transmisiones cifradas. Porque realmente aún no se ha conseguido dominar la técnica digital de la transmisión de datos televisivos. Los aparatos decodificadores hasta ahora sólo han sido probados en pequeños proyectos piloto en varios países. Para la transformación de informaciones digitales y para la potencial posibilidad de interacción necesaria por ejemplo para videos a la carta, compras en casa, juegos y programas de aprendizaje interactivos, una adecuada "set top box" debería contener los siguientes elementos: una unidad central como por ejemplo un procesador 486 o Pentium, 1-3 MB RAM, una refinada tarjeta gráfica para "multitasking" y Juegos de video, un "chip" de demodulación y de corrección de errores, un "chip display", un decodificador MPEG 2, una conexión lógica entre audio y video, un decodificador Dolby, dos 16 Bit Audio "Digital-Analog-Converter", mando a distancia, etc. Desde el punto de vista del fabricante se trata de un "Killer application", término que describe una técnica cuyo manejo es seguro contra empleo incorrecto y cuya utilidad es evidente, todo ello con una amortización relativamente rápida de las inversiones realizadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3 Digitalización y compresión de señales

La diferencia entre una señal analógica y una digital, sea cual sea su origen y finalidad, está en que la primera de ellas es de naturaleza continua y la segunda de ellas es de naturaleza discreta. Esto quiere decir que una señal digital se representa mediante un número concreto de valores mientras que la representación de una señal analógica se hace a través de una función de infinitos puntos. De esta afirmación, la primera conclusión que debemos sacar es que la digitalización de una señal es una mera aproximación a la señal inicial. Esta es la razón por la que el proceso de digitalización se inicia con un proceso de muestreo de la señal, de esta primera parte dependerá en buena medida la calidad final, ya que cuanto más aproximada sea la muestra, más cercana será la señal y el sonido final a la original. El siguiente paso en el proceso es la cuantificación de las muestras tomadas, es decir, asociar un valor al dato recogido en la operación de muestreo, que luego se utilizará en la siguiente fase. La tercera y última fase del proceso de digitalización de una señal es la codificación. En esta fase se ordenan todos los valores que hemos asignado en la fase de cuantificación de una manera concreta. Para luego poder transmitir la información de la señal.

3.1 Principios del procesamiento digital de señales

Para nuestro estudio las señales se dividen en cuatro tipos y se definen como sigue:

1. **Señal continua.** Señal que se define sobre un intervalo continuo de tiempo. La amplitud puede tener un intervalo continuo de valores o solamente un número finito de valores distintos.
2. **Señal discreta.** Señal que está definida sólo en valores discretos de tiempo. Por ejemplo una señal de datos muestreados. El término "señal de tiempo discreto" es más general que el término "señal digital".
3. **Señal analógica.** Señal continua cuya amplitud puede adoptar un intervalo continuo de valores. Caso especial de señal continua. En la práctica se emplea el término de señal analógica para nombrar a una señal continua que no ha sido cuantificada.
4. **Señal digital.** Señal discreta con amplitud cuantificada. Dicha señal se puede representar mediante una secuencia de números (por ejemplo, binarios). En la práctica muchas señales digitales se obtienen mediante el muestreo de señales analógicas que después se cuantifican.

En el siguiente ejemplo, Fig. 3.1, vemos los cuatro tipos de señales inmersas en el proceso de digitalización de la señal.

Es importante señalar como base fundamental las definiciones básicas de señal de sonido e imagen ya que son la base de la televisión digital. La señal de sonido se representa de forma matemática por la presión acústica como función del tiempo y la señal de imagen se representa como una función de brillantes en el tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

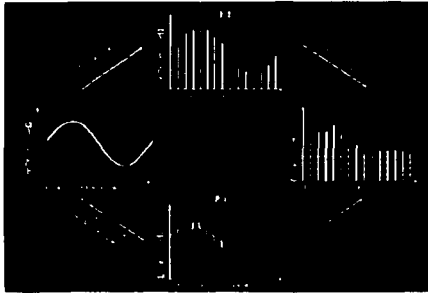


Fig. 3.1 Etapas básicas de la digitalización de la señal

Como se comentó anteriormente el proceso de digitalización de la señal esta conformado por tres etapas:

- Muestreo: convierte una señal continua en una señal discreta
- Cuantización: Convierte una señal analógica en una señal digital
- Codificación: Define el código de la señal digital según la aplicación que se sigue

Cada una la analizaremos por separado

3.1.1 Muestreo.

En ésta etapa lo que se hace es convertir una señal cambiante en el tiempo en una serie de muestras de manera discreta, Fig. 3.2 los intervalos en los que se toma una muestra recibe el nombre de tiempo de muestreo (t_s) y la inversa de esta se nombra frecuencia de muestreo (f_s).

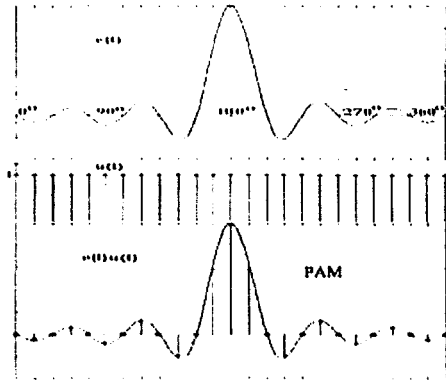


Fig 3.2 Muestreo de una señal

Como breve explicación en la figura anterior se toman muestras breves de una señal (que llamaremos $e(t)$) cada 15° a partir de un tiempo inicial ($t=0$). En 360° se habrán explorado 24 muestras. El resultado será una serie de impulsos cortos cuyas amplitudes siguen a la señal analógica. A este tren de impulsos modulados en amplitud por la señal analógica se le denomina señal PAM (Pulse Amplitude Modulation o Modulación por Amplitud de Pulsos). Este muestreo puede representarse por la multiplicación de la señal analógica $e(t)$ por un tren de impulsos $u(t)$.

En el etapa de muestreo existe un criterio muy importante a tomar en cuenta en cualquier proceso de digitalización, este es el criterio de NYQUIST. Este criterio establece que para conseguir un muestreo – recuperación sin distorsión, se requiere que la frecuencia de muestreo (f_0) se al menos dos veces más elevada que la frecuencia máxima presente en la señal analógica muestreada, ($f_0 > 2f_s$), ver fig. 3.3. Otra forma de concebir este teorema es ver que la separación entre una muestra y otra debe ser la mitad del tiempo de muestreo como se ejemplifica en la Fig. 3.4

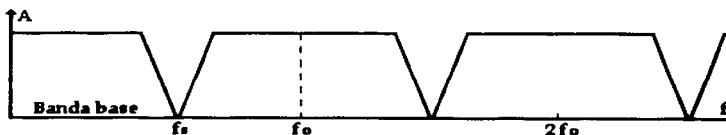


Fig. 3.3 Teorema de Nyquist

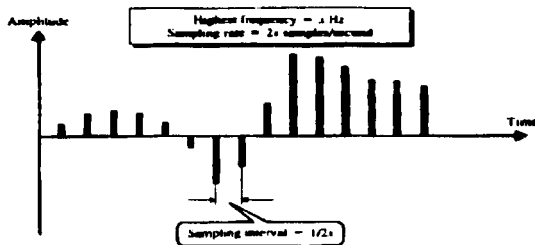


Fig. 3.4 Teorema de Nyquist en intervalos de muestreo

De no cumplirse el teorema del muestreo de Nyquist se produce un efecto de solapamiento entre las frecuencias más altas de la misma, como se ve en la Fig. 3.5. Este efecto se denomina "aliasing" o alias en español, dicho fenómeno produce pérdidas de información. En la Fig. 3.6 podemos ver que sin la información adecuada, la señal será reconstruida distorsionada y sin semejanza a la señal antecesora.

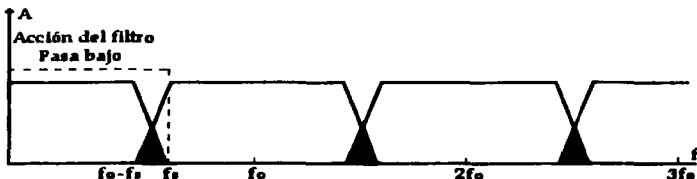


Fig. 3.5 Alias

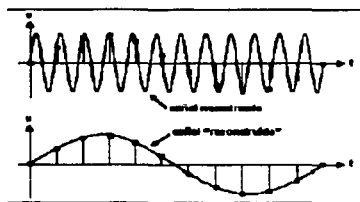


Fig. 3.6 Señal con distorsión causada por un submuestreo o alias

Para evitar el alias todos los sistemas de muestreo utilizan antes de la etapa de muestreo un filtro especial llamado filtro antialias (es un filtro de ventana) que limita las frecuencias superiores a los parámetros necesarios para audio y vídeo.

3.1.2 Cuantización

Es aquí donde se da un paso decisivo para digitalizar la señal por lo que a ésta etapa la definiremos como el proceso mediante el cual se atribuye a cada muestra un valor de amplitud dentro de un margen de niveles previamente fijado. Este valor se representa por un número que será convertido a un código de ceros y unos en el proceso de codificación, como se muestra en la Fig. 3.7

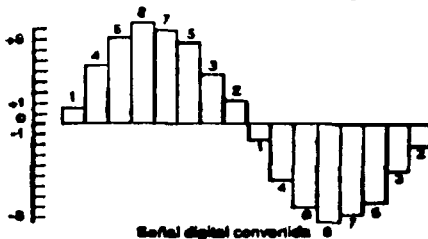


Fig. 3.7 Principio de cuantización

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la etapa de cuantificación obtenemos valores precisos (no valores redondeados) de la señal analógica, sin embargo es necesario que dichos valores tomen una magnitud específica para luego asociarlos a una escala de bits, por lo que la señal a cuantizar se divide en regiones, a estas regiones en las que se divide la escala de señales se llaman intervalos de cuantificación (Q), ver Fig. 3.8 a.

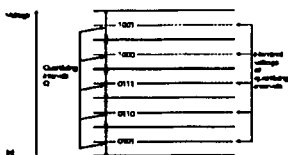


Fig. 3.8a Cuantización



Fig. 3.8b Cuantización

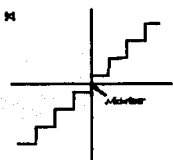


Fig. 3.8c Cuantización

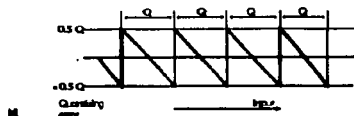


Fig. 3.8d Cuantización

En el proceso de cuantificación se utilizan circuitos electrónicos llamados cuantizadores, estos cuantizadores dependen del tipo convertidor analógico digital, que son en realidad señales escalonadas, para nuestro interés mencionaremos los dos tipos de cuantizadores que mas se utilizan en estos convertidores; estos son, cuantizador de mitad de tramo, Fig. 3.8b y cuantificador de mitad de peldaño, Fig. 3.8c.

El número de niveles Q se hace coincidir con una potencia de dos y los impulsos de la señal cuantizada se redondean al valor superior o inferior según sobrepasen o no la mitad del ancho del nivel en que se encuentran. Pero muchas veces el cuantizador no alcanza a representar adecuadamente a la señal a cuantizar (ruido de saturación) o muchas veces la señal presenta cambios muy suaves imperceptibles al cuantizador (ruido de canal) a esto le llamaremos error de cuantización. En la Fig. 3.8d y 3.9. vemos gráficamente el error de cuantización.

Para reducir los efectos de este error y tener un redondeo con mayor efectividad, este redondeo se hará entre $-Q$ y $+Q$, ésta notación nos ayudara para analizar cuantos niveles de cuantización se necesitarán para una aplicación específica y eliminar los ruidos antes mencionados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

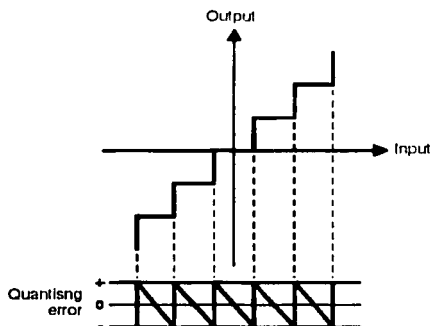


Fig. 3.9 Error de cuantización

3.1.3 Codificación.

Una vez que tenemos ya los datos de la forma de la señal (señal de audio y vídeo) surge la necesidad de agruparlos (o codificarlos) e indicar los diferentes niveles analógicos en la conversión analógico – digital. Para realizar dicha agrupación se utilizan dos tipos de códigos: códigos unipolares (solo nos dan información de la magnitud de la señal mas no de su signo) y códigos bipolares que nos da la información de magnitud y signo de la señal. Los códigos bipolares son los más usados y a continuación se muestra la Tabla 3.1 de los códigos mas conocidos:

- Magnitud y signo. La magnitud es expresada por un código binario con un bit de signo, tiene la ventaja de que la transición en cero es bastante simple, a diferencia de los otros códigos, pero es más difícil para procesar ya que hay dos códigos para cero. Tabla 3.1
- Código binario de desplazamiento. Este es un código binario natural pero el paso por cero es el mismo que el de magnitud de signo. Tabla 3.1
- Complemento a dos. Es muy similar al código binario de desplazamiento, pero con el signo de bit invertido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Numero	Referencia	Magnitud y signo	C. B. Desplazamiento	Complementario a dos
7	7/8	0111	1111	0111
6	6/8	0110	1110	0110
5	5/8	0101	1101	0101
4	4/8	0100	1100	0100
3	3/8	0011	1011	0011
2	2/8	0010	1010	0010
1	1/8	0001	1001	0001
0	0+	0000	1000	0000
0	0-	1000	1000	1111
-1	-1/8	1111	0111	1110
-2	-2/8	1110	0110	1101
-3	-3/8	1101	0101	1100
-4	-4/8	1100	0100	1011
-5	-5/8	1011	0011	1010
-6	-6/8	1010	0010	1001
-7	-7/8	1001	0001	1000

Tabla 3.1

Para una mejor compresión de la codificación en la Fig. 3.10 se da un ejemplo de codificación de complemento a dos de una señal sobre una señal senoidal.

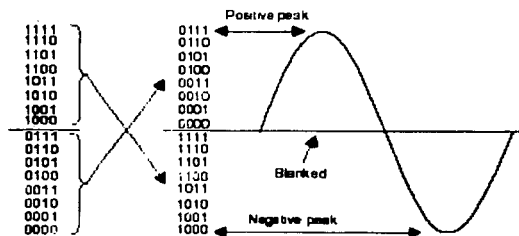


Fig.3.10 Señal codificada con código complemento a dos y código binario de desplazamiento

3.2 Parámetros de la señal de audio y video

Con base en los conceptos hechos con anterioridad, analizaremos los parámetros que se utilizan en todo el proceso de digitalización de las señales de audio y video. La señal de televisión digital involucra la señal de video (imagen) y de sonido (aural), sin embargo las dos señales, que si bien van sincronizadas, su procesamiento se realiza por partes separadas, por lo que analizaremos las señales por separado.

Antes de pasar con los siguientes análisis hay que resaltar un fenómeno que se presentará en todas las etapas del procesamiento del audio y de video, se llama Jitter, este concepto lo definiremos como una incertidumbre temporal que se da en varios procesos de digitalización de la señal, o desde otro punto de

vista como una irregularidad en la transmisión o aparición de los bits de información desde la fuente analógica a la digital. Este problema aparece por la propia estructura física de los conectores tal y como son recorridos por la señal digital en su camino por los circuitos que realizan todo el proceso de digitalización.

En la Fig. 3.11 vemos como este fenómeno distorsiona la señal, en el primer caso 3.11a) la señal es distorsionada sobre el nivel de voltaje y en el caso 3.11b) es distorsionada por desplazamiento de la señal.

En televisión digital los procesos de digitalización de la señal de audio y video se realizan por separado ya que cada señal requiere sus propios parámetros. Es por eso que el análisis de estas señales se hacen por separado.

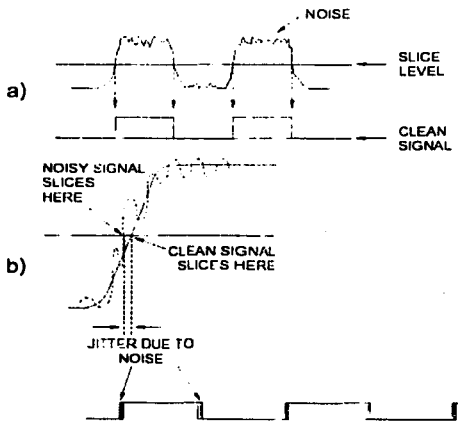


Fig. 3.11 Jitter

3.2.1 Señal de audio

En teoría el oído tiene un rango de frecuencia de entre 20Hz y 20000Hz, de acuerdo con el teorema de Nyquist la frecuencia de muestreo debe de ser de 40 kHz, pero como sabemos ésta es la mínima frecuencia para el muestreo de la señal de sonido, pero existe un problema que si tenemos una tasa de muestreo muy pequeña o ajustada al momento de filtrar y sincronizar la señal de audio presentaría un retardo, por lo que se tomo la decisión de estandarizar dicha frecuencia en 48kHz, aunque muchos casos se utiliza una frecuencia de 44,1 kHz esto es para que sea compatible con la frecuencia de muestreo de un CD y poder grabar películas en este formato. La ventaja de un sobre muestreo nos da la posibilidad de tener una mejor reconstrucción y menor pérdidas a la hora de filtrar, la resolución se extiende.

La señal después de ser muestreada se considerada una señal PAM pero esta es ineficaz en comunicaciones por que aunque se convierta la forma actual de la señal a una serie de pulsos, siguen

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

teniendo amplitud (pulsos, todavía señal analógica y no digital). Para realizar tanto la cuantización como la codificación se utiliza el método PCM (Pulse Code Modulation o modulación de pulsos codificados).

PCM se caracteriza por tener pulsos de longitud fija y amplitud fija, es un sistema binario (un pulso o ausencia de pulso) lo que representa tener una condición lógica de 1 o 0 en un tiempo determinado. Tiene las siguientes ventajas:

- Regeneración completa de la señal que contiene toda la información codificada.
- Circuitos de modulación y demodulación digitales (confiables y estables)
- Almacenamiento eficiente de la información
- Codificación adecuada reduce efectos de ruido e interferencia

Por ejemplo para codificar una señal de medio ciclo de una onda senoidal de un volt de amplitud utilizando PCM se utilizan ocho niveles discretos igualmente espaciados; el siguiente paso es asignar un dígito a cada nivel de manera que exista correspondencia uno a uno entre los niveles y el conjunto de los enteros reales. En lugar de enviar un pulso el cual contiene cierta información en su amplitud, ancho o posición, se envía un código o patrón de pulsos de amplitud, ancho y posición constante, que lleva la información en forma cuantificada. Como se ve en la Fig. 3.12.

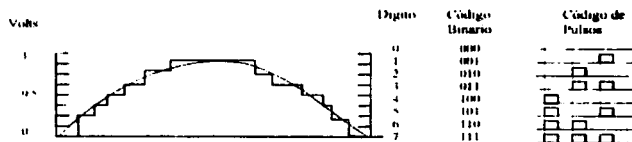


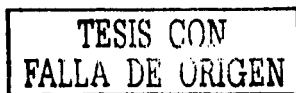
Fig. 3.12 Codificación PCM

En cuanto a la resolución que debe tener PCM (para audio), o lo que es lo mismo, la cantidad de niveles de cuantificación distintos que se pueden obtener, oscila entre los 16 bits y los 24 bits, según sea la aplicación. La resolución (o niveles de cuantización) que debe tener el sonido en la televisión digital se establece en 24 bits (2^8).

3.2.2 Señal de video en DTV

En un sistema análogo de video, el barrido de una señal se da por líneas horizontales y verticales para formar campos, representando algo continuo por un método discreto. En el proceso digital este proceso se extiende a un tercer paso en donde las líneas de video son convertidas en puntos tridimensionales llamados píxeles (un píxel es una muestra de la señal de luminancia). Una imagen 525/60 (525 líneas y 60 cuadros por segundo según el sistema NTSC) contiene alrededor de un millón de píxeles. En gráficas de computadora los espacios entre píxeles es el mismo horizontalmente que verticalmente, en el video digital no es así. Una vez que la imagen es dividida en píxeles, cada píxel toma un valor numérico, que sería el equivalente a tener una hoja cuadrículada. El eje horizontal representa los píxeles a lo largo de la pantalla el cual tiene número ascendentes, el eje vertical representa el voltaje de la forma de video especificado en cada cuadro que ocupa un píxel. La forma de señal de onda puede ser representada donde sea por la descripción del cuadro en el que esta. Una vez convertida la señal de luz en señal analógica.

La señal de video (o conocida como señal de video compuesta) se forma de dos partes, la señal de luminancia (Y) y la señal de crominancia (C). Ambas señales tienen un nivel de cuantización de 8 bits (2^8) como mínimo a 10 bits (2^{10}) para calidad de estudio.



La etapa de muestreo de la señal compuesta presenta una gran diferencia con respecto a la señal de audio ya que la señal de crominancia, que contiene las características de saturación y tono del color, se encuentra compuesta de tres principales colores: rojo (R), verde (G) y azul (B), RGB; en estudios que se han hecho se encontró que el ojo humano responde de distinta manera a los colores básicos de video como son el rojo, el verde y el azul. De estos estudios se le dio a cada color un peso específico y se obtuvo la siguiente formula algebraica $Y=0.299R+0.5876G+.1143B$, donde las fracciones representan el porcentaje de aportación.

Además cuando comenzó la transición de la televisión monocromática a la televisión a color, la señal de color que tenían que ser transmitidas debían ser compatible con las televisiones monocromáticas y viceversa. Si se enviaban señales individuales R,G,B los dos tipos de televisión eran incompatibles ya que ninguno de los dos aparatos estaba en condiciones de procesar sus respectivas señales. También se encontró que el ancho de banda de la señal a color era mucho mayor.

Para resolver este problema, se vio que la mejor manera era hacer sustracciones con respecto al verde que como vimos era el que tenía mayor respuesta y se llegó al conclusión que la mejor manera de enviar esta señal a color es haciendo una codificación de una señal de luminancia (Y) con dos señales de crominancia R-Y (C_r) y B-Y (C_b), la televisión monocromática al recibir una señal de color solo procesaba la señal de luminancia Y, pero cuando la televisión a color recibe una señal monocromática, las operaciones B-Y y R-Y son cero quedando solo la señal Y, con lo que se obtiene una imagen neutral, además el ancho de banda se redujo.

Cuando se analizaron estos conceptos desde el punto de vista digital, se vio que aparte de que se reduce el ancho de banda de transmisión, el error de muestreo se reduce, por lo que antes de muestrear se hace una codificación como se menciona en el párrafo anterior. En la Fig. 3.13 podemos ver las tres señales que componen el video digital.

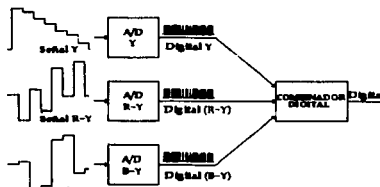


Fig. 3.13 Codificación de la señal de video compuesta

Otra gran ventaja que se deriva de esta codificación es que siendo estas tres señales (Y, C_r y C_b) comunes a todos los sistemas, la compatibilidad puede alcanzarse por regulación internacional de los parámetros de muestreo, cuantificación y codificación. En tal sentido el CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications o Comité Consultivo Internacional de Radio Comunicaciones) emitió en 1982 la norma 4:2:2 CCIR 601 de televisión digital en componentes, sobre esta norma se analizará los demás parámetros.

La norma 4:2:2 recibe el nombre al tipo de muestreo que se sigue que es 4 muestreos Y (luminancia) por 2 muestreos C_r (diferencia R-Y) y 2 muestreos C_b (diferencia B-Y), esto nos dice que por cada 4 muestras que se tengan de Y debe haber solo 2 muestras de cada crominancia, es por eso que las señales Cr y Cb se muestrean a 6.75 Mhz que es la mitad de la frecuencia de Y que es de 13.5 Mhz. La ventaja es que el ancho de banda se reduce al 50% que si se utilizara muestreos iguales para las tres señales de video (formato 4:4:4) sin pérdidas en la calidad de la señal. Fig. 3.14

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

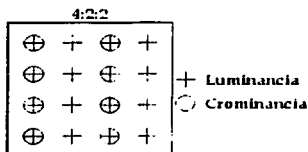


Fig. 3.14 Formato de muestreo 4:2:2

La razón fisiológica en la cual se basa la norma 4:2:2 para estandarizar las tasas de muestreo de la luminancia y la crominancia es que el ojo humano es menos sensible a los detalles del color que a los del brillo, de esta forma, si se reduce el grado de definición del color, incluso a la mitad que el que se designe al brillo, no existirá variación en la percepción en la calidad del video. Esto significa que el ancho de banda de las señales de crominancia Cr y Cb, podrá ser la mitad de la que requiera la señal de luminancia Y.

Como vemos en la Fig. 3.15 la estructura de muestreo es ortogonal dividido en niveles con codificación PCM (de la misma forma que en audio digital). Como se mencionó al principio 8 es el número de bits para cuantizar, entonces 2^8 niveles = 256 niveles de cuantificación. El uso de los 256 niveles es como sigue: la luminancia utiliza 220 niveles a partir del 16 que corresponde al nivel de negro, hasta el 235 correspondiente al nivel de blanco, el nivel cero y el nivel 255 son para los bits de sincronización tanto de audio como de video. Como se ve existe un margen de 16 niveles al principio y 20 niveles al final, dicho margen es para disminuir los efectos que se tenga a la hora de transmitir.

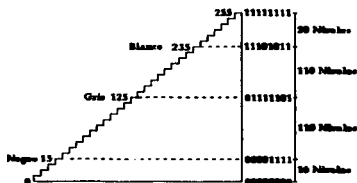


Fig. 3.15 Uso de los niveles de cuantización de luminancia

Para las señales de diferencias de color (R-Y y B-Y), de los 256 niveles (2^8), se utilizan 224 niveles que se reparten a ambos lados del cero análogo, que se hace corresponder con el número digital 128. Así pues, la señal variará entre los valores extremos $128 + 112 = 240$ y $128 - 112 = 16$, con una reserva de 16 niveles a ambos lados y el bit 0 y 255 para sincronización. El margen de bits para la sincronización sigue el mismo criterio de la señal de luminancia, como vemos en la Fig. 3.16.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

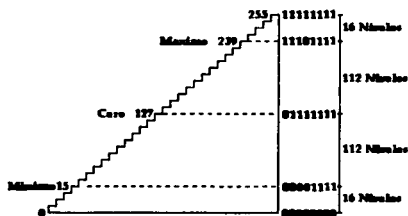


Fig. 3.16 Uso de los niveles de cuantización de prominencia

3.3 Aspectos básicos de la compresión

Compresión es una manera general de representar señales de audio y video digital en una forma compacta para poder ser transmitidos por un canal ya establecido. La compresión surge de la necesidad de transmitir una gran cantidad de bits a través de un medio ya establecido (aire, fibra óptica, etc.), por ejemplo en el sistema de video NTSC que consta de 525 líneas de barrido, cada línea de barrido tiene 720 píxeles, el total de píxeles por lo tanto es: $720 \times 525 = 378000$ píxeles además este sistema maneja 30 cuadros por segundo esto nos da 11340000 píxeles por cada segundo, para transmitir esta información se necesita un ancho de banda mucho mayor del que se tiene, que es 6 MHz. Como vemos en la Tabla 3.2 las tasas de transmisión de algunos formatos de video son muy elevadas para ser transmitidas sin compresión, por lo que es necesario utilizar algún formato de compresión para ser transmitida.

Aplicación	Sin compresión	Comprimido
Slow motion video 10fps ¹ Tamaño 176x120	5.07 Mbps	8-16 kbps
Video conferencia 15fps 352 x 240	30.41 Mbps	64-768 kbps
Video digital en CD 30fps 352 x 240	60.83 Mbps	1.5-4 Mbps
HDTV 60fps 1280 x 720	1.33 Gbps	20 Mbps

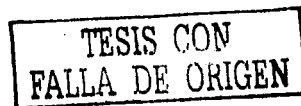
Tabla 3.2 Tablas de comparación entre video comprimido y sin comprimir

3.3.1 Aspectos generales de los formatos de compresión.

Antes de analizar los aspectos generales de la compresión de imagen y sonido es necesario comentar tres características generales a tomar en cuenta por cualquier formato de compresión que utilizamos, estos son:

1. Factor de compresión. El factor de compresión esta definido como la relación entre la tasa de transmisión de una señal sin comprimir y la tasa de transmisión de una señal comprimida. Todos los formatos de compresión muestran la tendencia de que en algún punto (punto de inflexión) el formato de compresión usado empieza a causarnos pérdidas, como se ve en la Fig. 3.17.

¹ fps: Frame Per Second (cuadros por segundo)



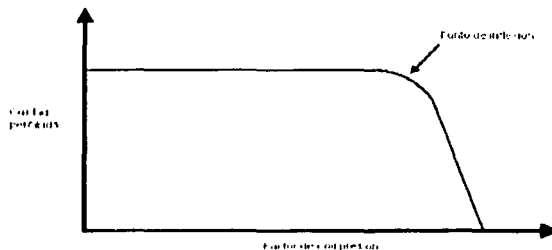


Fig. 3.17 Tendencia de los algoritmos de compresión entre factor de compresión y calidad percibida

2. Percepción y realidad. Existen factores que pueden modificar el punto de inflexión. Un factor muy importante es la naturaleza de la imagen, ya que puede ser una imagen estática (imagen espacial), imágenes en movimiento (imagen temporal). Las imágenes de personas en movimiento son más difíciles de comprimir que un paisaje estático, otros factores que influyen se muestran en la Fig. 3.18, como por ejemplo el ruido.

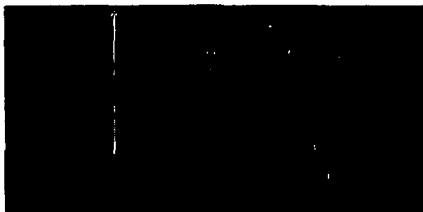


Fig. 3.18 Factores que afecta al factor de compresión

3. Lentitud y complejidad.- Como vemos en la figura siguiente, Fig. 3.19a y 3.19b la relación entre el factor de compresión y la complejidad del algoritmo de compresión es directamente proporcional, si queremos tener una mejor imagen la complejidad del algoritmo de compresión aumenta, pero también crece el retardo del proceso de compresión – descompresión de manera exponencial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

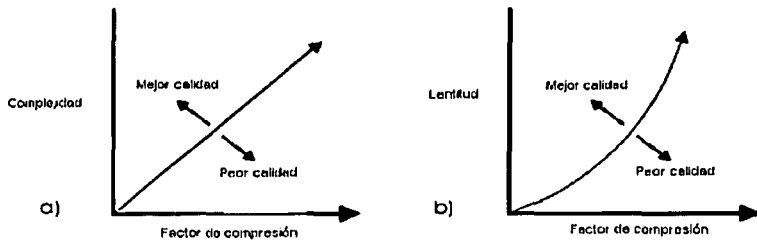


Fig. 3.19 Relación entre factor de compresión y complejidad (a) y factor de compresión y lentitud (b)

Antes de analizar los conceptos de compresión de imágenes mencionaremos una herramienta llamada histograma de brillo.

El histograma de brillo nos muestra una distribución gráfica de los niveles de gris de los píxeles en una imagen. Esta herramienta nos proporciona una representación gráfica de cuántos píxeles están en cada franja de niveles de gris.

Un histograma se muestra como una gráfica donde en el eje horizontal está el brillo, que va de 0 hasta 255 (para una escala de gris de 8 bits), y en el eje vertical el número de píxeles. El histograma es una representación que nos facilita la lectura de la concentración de píxeles contra el brillo en una imagen. Usando este gráfico se puede ver inmediatamente si una imagen es básicamente oscura o clara y de contraste¹ alto o bajo. Por ejemplo, el histograma de brillo que vemos que la Fig. 3.20a tiene los niveles de gris concentrados hacia la derecha por lo que la imagen tiene poco brillo mientras que en la Fig. 3.20b vemos el caso contrario donde la imagen presenta un brillo más alto.

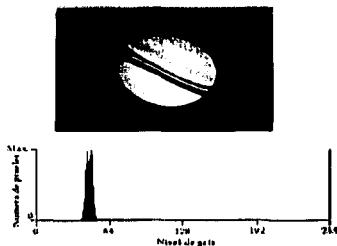


Fig. 3.20a Histograma de una imagen oscura

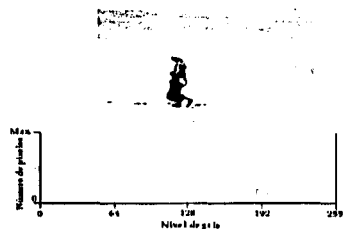
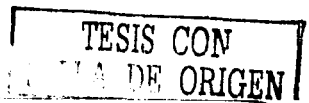


Fig. 3.20b Histograma de una imagen con más brillo

¹Contraste significa qué tan intensa o desdibujada aparece una imagen con respecto a los tonos grises.



3.3.2 Redundancia

La compresión de vídeo se basa en el principio de que todas las imágenes tanto fijas como en movimiento contienen información redundante (sin relevancia) y se utiliza para reducir la cantidad de datos de una señal digitalizada. La finalidad del análisis de la redundancia es identificar las partes esenciales de una imagen, que las distingue de otras imágenes. Este concepto es importante ya que la mayor parte del proceso de compresión en vídeo se basa en el análisis y eliminación de la redundancia, la eliminación de la redundancia se hace tanto en una misma imagen como entre imágenes.

Para el análisis de la compresión en vídeo se pueden identificar y aprovechar cuatro tipos de redundancia:

1. Redundancia entre píxeles o Espacial. La mayoría de las imágenes presentan semejanzas o correlaciones³ entre sus píxeles. Estas correlaciones se deben a la existencia de estructuras similares en las imágenes, puesto que no son completamente aleatorias. De esta manera, el valor de un píxel puede emplearse para predecir el de sus vecinos.

Como vemos en la Fig. 3.21a los elementos de la imagen presenta una aleatoriedad muy alta por lo tanto la redundancia entre píxeles es muy baja, mientras que en la Fig. 3.21b los elementos presentan estructuras similares, en esta imagen es posible predecir razonablemente el valor de un determinado píxel a partir del valor de sus vecinos, ya que la información que aporta individualmente los demás píxeles de la misma estructura son relativamente pequeñas. La mayor parte de la contribución visual de un único píxel a una imagen es redundante; puede ser inferido de acuerdo con los valores de sus vecinos.

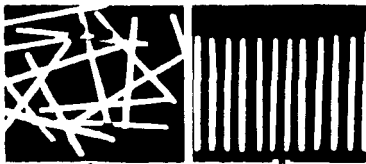


Fig. 3.21 Redundancia entre píxeles

2.- Redundancia Temporal. Una voz identificada la redundancia espacial, se busca estructuras similares en imágenes subsiguientes, y solo se procesa la diferencia entre secuencias contiguas. En la imagen 3.22 vemos claramente la diferencia entre redundancia espacial y temporal.

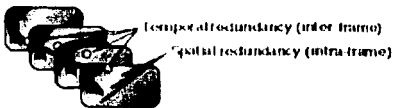


Fig. 3.22 Redundancia espacial y temporal

3. Redundancia visual. El ojo humano responde con diferente sensibilidad a la información visual que recibe. La información a la que es menos sensible se puede descartar sin afectar a la percepción de la imagen. Se suprime así lo que se conoce como redundancia visual.

³ Correlación. Existencia de mayor o menor dependencia mutua entre dos variables aleatorias.

En general, una persona busca características específicas, como bordes o regiones de diferentes texturas, y luego las combina mentalmente en grupos reconocibles. A continuación, el cerebro relaciona estos grupos con el conocimiento previo que tiene de los objetos de la imagen con el fin de completar el proceso de interpretación de la imagen. Al contrario que la redundancia de codificación y la redundancia entre píxeles, la redundancia visual está asociada a la información visual real o cuantificable. Su eliminación es únicamente posible porque la propia información no es esencial para el procesamiento visual normal.

4. Redundancia de codificación. El código de una imagen representa el cuerpo de la información mediante un conjunto de símbolos. La eliminación del código redundante consiste en utilizar el menor número de símbolos para representar la información.

3.3.3 Compresión de imágenes

Los algoritmos de compresión de vídeo utilizan conceptos de compresión de imágenes individuales y compresión de secuencia de imágenes. En este subtema hablaremos de compresión de imágenes individuales.

Los métodos de compresión de imágenes se dividen en dos grandes grupos:

- Compresión de imágenes sin pérdidas. Los métodos de compresión sin pérdida de información (*lossless*) se caracterizan porque el factor de compresión (normalmente es de 2:1) que proporcionan está limitado por la redundancia de datos de la señal original. En este tipo de esquema los datos comprimidos se descomprimen a su forma original exacta, lo cual nos indica que la compresión se realiza sin pérdidas.
- Compresión de imágenes con pérdidas. Los métodos de compresión con pérdida de información (*lossy*) logran alcanzar factores de compresión más elevada a costa de sufrir una pérdida de información sobre la imagen original.

3.3.3.1 Codificación en compresión de imágenes sin pérdidas

Para realizar una compresión sin pérdidas se han desarrollado diferentes códigos de compresión, algunos de ellos son: codificación aritmética, codificación de planos de bits, codificación por longitud de series y codificación Huffman, esta última es la más utilizada en los formatos de compresión para imágenes individuales.

Codificación Huffman: convierte los valores de brillo de los píxeles de la imagen original en nuevos códigos de longitud variable, basado en su frecuencia de ocurrencia en la imagen. De esta manera, a los valores de brillo que ocurren más frecuentemente se les asignan los códigos más cortos y a los valores de brillo que ocurren con menos frecuencia se les asignan los códigos más largos. El resultado es que la imagen comprimida requerirá de menos bits para describir la imagen original.

En la Fig. 3.23a se muestra una imagen, cada píxel es representado por un valor de brillo de tres bits. El histograma de la imagen (Fig. 3.23b) muestra el número real de píxeles en la imagen con cada uno de los ocho valores de brillo. En la Fig. 3.23c el brillo es ordenado basado en sus frecuencias de ocurrencia y entonces se combina en un árbol de Huffman, en el árbol de Huffman se hacen combinaciones con los valores de brillo basados en la suma de las frecuencias de ocurrencia. El árbol de Huffman asegura que los códigos más largos se asignen a los brillos menos frecuentes y los códigos más cortos se asignen a los brillos más frecuentes. Usando el brillo clasificado en orden de sus frecuencias de ocurrencia, los dos menos frecuentes se combinan y se etiquetan como 0's y 1's. Los brillos combinados son representados por la suma de las frecuencias de ocurrencia. Entonces, se determinan y se combinan las próximas dos frecuencias de ocurrencia más bajas. De nuevo, el siguiente par se etiqueta 0 y 1, y es representado por la suma de las frecuencias de ocurrencia. Esto continúa hasta que todo el brillo se ha combinado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

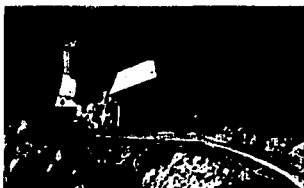


Fig. 3.23a Imagen a ser codificada

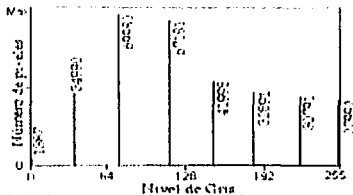


Fig. 3.23b Histograma de brillo de la imagen a ser codificada

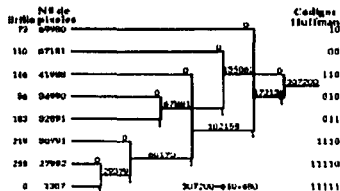


Fig. 3.23c Codificación Huffman de la imagen original

3.3.3.2 Codificación en compresión de imágenes con pérdidas

La ventaja de los esquemas de compresión con pérdidas es que se tiene la posibilidad de comprimir una imagen con un factor de compresión más alto que los esquemas de compresión sin pérdidas. Este factor de compresión puede ser de 10:1 sin degradaciones visuales notables, y se pueden alcanzar factores de compresión mayores de 100:1 con degradaciones visuales muy notables.

Sin embargo, la imagen antes de ser comprimida primero debe ser transformada a un nuevo tipo de esquema, el cual nos permitirá analizar dicha imagen y poder suprimir la redundancia espacial. Existen diferentes tipos de esquemas de transformación, sin embargo el método más utilizado es la transformación discreta de coseno (DCT).

DCT: La DCT nos permite pasar del dominio del espacio a otro nuevo dominio llamando dominio de la frecuencia, en el que los valores obtenidos no son pixel, sino elementos matemáticos llamados coeficientes y dichos coeficientes corresponden a cada pixel de la imagen. La DCT convierte los valores de la unidad de datos en suma de funciones coseno.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Para el procesamiento de imágenes, se necesita hacer una exploración en frecuencia tanto vertical como horizontal. Como se muestra en la Fig. 3.24. Una fila de píxeles, agrupados en un bloque de 8x8, es convertido a una fila de coeficientes. Las magnitudes de estos coeficientes representan la frecuencia espacial de los colores de los píxeles.

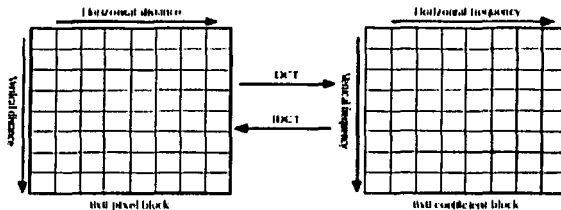


Fig. 3.24 Transformación de una imagen del dominio del tiempo al de la frecuencia

En la Fig. 3.25 se muestra de manera gráfica los posibles coeficientes de una DCT después de realizada la DCT al Bloque de píxeles anterior.

Hay que aclarar que la DCT no realiza ninguna compresión, ya que hay tantos coeficientes como muestras, pero convierte los datos de entrada en una forma en la que la redundancia espacial puede detectarse y eliminarse fácilmente. Son los coeficientes los que pueden ser comprimidos mediante técnicas que veremos más adelante.

La DCT se hace por bloques individuales de píxeles en una imagen, y se tratan independientemente de cualquier otro campo o cuadro. La Fig. 3.25 nos muestra un ejemplo de distintos coeficientes de una DCT para un bloque de 8x8 píxeles. El coeficiente superior izquierdo lleva la componente continua (DC) del bloque y representa el píxel con mayor brillo. Se tratará de un valor unipolar (sólo positivo) en el caso de la luminancia y, normalmente, será el valor más alto del bloque, dado que el espectro de las imágenes típicas se encuentra dominado por la componente DC. Hacia la derecha, los coeficientes representan las frecuencias espaciales horizontales crecientes y, hacia abajo, los coeficientes representan las frecuencias espaciales verticales crecientes. El coeficiente inferior derecho representa las frecuencias diagonales más altas del bloque. Todos estos coeficientes son bipolares, donde la polaridad indica si fue invertida la forma de onda espacial original a esa frecuencia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

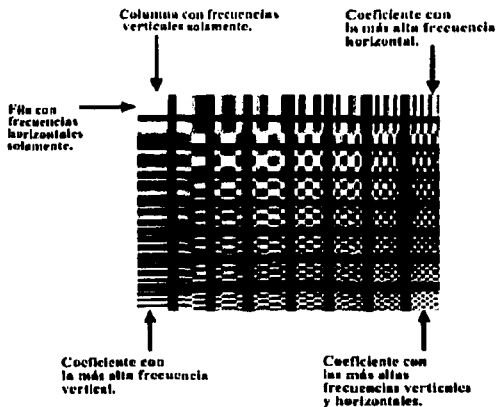


Fig. 3.25 Coeficientes de una imagen de 8x8 píxeles

Una vez obtenida la DCT se hace una cuantización de los coeficientes obtenidos. Los coeficientes de la transformada son cuantificados en base a un nivel de umbral para obtener el mayor número de ceros posibles. Para la cuantificación se utiliza una matriz de normalización estándar⁴, y se redondean los resultados a números enteros.

Finalizada la cuantificación tiene lugar la etapa de codificación que consiste en asociar un código binario a cada uno de los índices obtenidos, con el objeto de comprimir aún más los datos de la imagen. Se intentará asociar códigos cortos a los índices que más se repiten dejando los más largos para aquellos índices que raramente aparecen. Normalmente se utiliza el código Huffman, el cual como vimos crea códigos más cortos para símbolos que se repiten frecuentemente y códigos más largos para símbolos que ocurren con menor frecuencia.

En resumen el concepto de la DCT es un algoritmo que se basa en el diferencial de intensidades entre un píxel y su contiguo, así que cuanto menor es la diferencia entre un píxel y sus vecinos, menor es el valor de su DCT, además su importancia principal radica en el hecho que al convertir la señal de entrada en una serie de coeficientes, la redundancia entre píxeles puede detectarse fácilmente y ser eliminada, facilitando así la reducción del ancho de banda de transmisión. Cabe aclarar que la DCT se aplica tanto a la luminancia como la crominancia.

3.3.4 Compresión de video

Una vez hecha la compresión de imágenes individuales, el paso siguiente es hacer un análisis entre imágenes secuenciales y hacer una compresión temporal.

⁴ En la matriz de normalización estándar se encuentran los coeficientes que han superado el umbral del ojo humano.



En compresión de vídeo existen tres tipos de codificación para la compresión:

Codificación espacial: Se encarga de analizar y reducir la redundancia espacial para comprimir una imagen individual.

Codificación Temporal. Se encarga de analizar y reducir la redundancia que hay entre imágenes sucesivas.

Codificación Bidireccional. Sirve como referencia para imágenes anteriores y posteriores

Codificación Espacial. La codificación espacial aprovecha la información redundante de una imagen en particular, es decir, en un mismo cuadro. Ya sea descartando las frecuencias de color invisibles al ojo humano, o derivada de la repetición de información de píxeles contiguos y semejantes. Este tipo de codificación es la que incluye compresión con pérdidas y sin pérdidas que se analizó en el subtema 3.3.3.

Codificación temporal. La codificación temporal aprovecha la ventaja que existe cuando las imágenes sucesivas son similares. En la Fig. 3.26 vemos que en lugar de enviar la información de cada imagen por separado, el codificador temporal envía la diferencia existente entre la imagen previa y la actual. Para realizar este paso se necesita de una imagen almacenada con anterioridad para luego ser comparada entre imágenes sucesivas. Los datos que se generan al hacer la diferencia entre dos imágenes pueden ser tratados como una nueva imagen.

La codificación temporal permite altos factores de compresión, pero con la desventaja de que una imagen individual existe en términos de la diferencia entre imágenes previas. Si una imagen previa es quitada en la edición, entonces los datos de diferencia pueden ser insuficientes para recrear la siguiente imagen. El estándar de compresión MPEG (Motion Pictures Experts Group) utiliza esta técnica.

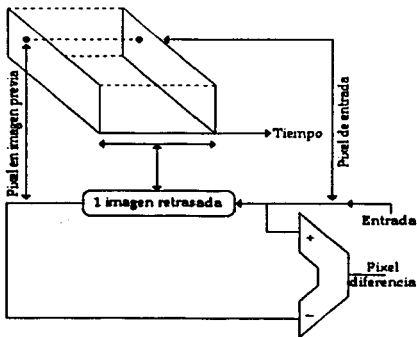


Fig. 3.26 Codificación Temporal

Codificación bidireccional. Esta se da cuando un objeto se mueve, el objeto oculta lo que hay detrás de él, pero esto va cambiando a medida que se va moviendo, permitiendo observar el fondo. Como se ve en la Fig. 3.27, el revelado del fondo exige nuevos datos a ser transmitidos, ya que el área del fondo había sido ocultada anteriormente y la información no pudo ser obtenida desde una imagen previa. Un problema similar ocurre si se hace una toma panorámica con una cámara de vídeo; al desplazar la cámara aparecen nuevas áreas al observador y nada se sabe acerca de ellas. MPEG ayuda a minimizar este problema utilizando codificación bidireccional, la cual deja información para ser tomada de imágenes anteriores y posteriores a la imagen observada. Si el fondo ya ha sido revelado, este será presentado en

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

una imagen posterior, entonces la información puede ser movida hacia atrás en el tiempo, creando parte de la imagen con anticipación.

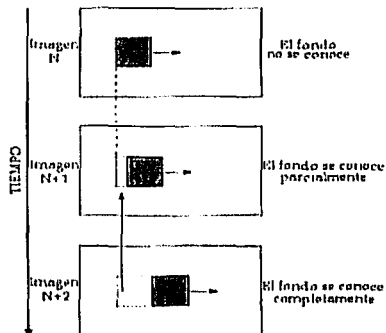


Fig. 3.27 codificación bidireccional

3.3.5 Compresión de audio

Para un mejor análisis de la señal de audio se utiliza la división espectral según criterios particulares de cada sistema de compresión para distintas zonas del espectro audible. (MPEG divide el rango de frecuencia en 32 bandas), como vemos en la Fig. 3.28. La razón de la división del espectro en bandas más cortas (llamadas sub-bandas) radica en el hecho de limitar y reducir los datos binarios de audio que se consideran innecesarios para una correcta audición y ello se hace en función de aspectos fisiológicos del oído (Concretamente en que su respuesta en frecuencia no es lineal sino logarítmica).

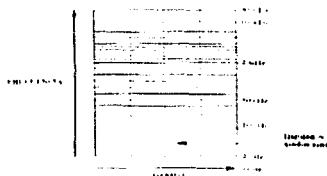


Fig.3.28 División espectral del ancho de banda del audio

Una vez que se tiene el número de sub-bandas en un sistema de compresión, el contenido de información de la señal de audio será analizado por sub-bandas y por unidad de tiempo, esto quiere decir que durante un tiempo determinado y en una zona determinada del espectro de audio se determina lo siguiente; cantidad de información que contiene, de que frecuencia us dicha información y el número de armónicas que hay en la su-banda, a este proceso se le conoce como codificación de la sub-banda. Con

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

la codificación de la sub-banda podemos introducir ruido (ruido de cuantización) en aquellas bandas donde el oído no perciba el ruido, esto nos permite realizar una cuantificación menos fina (escalones de cuantificación más grandes, que se traduce en menos bits), mientras que en las zonas donde el ruido es mas perceptible para el oído, asignamos más bits. El cálculo de la cantidad de ruido que se puede admitir es un dato basado en lo que se llama el "Modelo psicoacústico". Este modelo es completamente experimental, y se realiza promediando la respuesta de muchas personas frente a determinados estímulos. Un buen modelo nos permitirá estimar con precisión la cantidad de ruido admisible y la banda donde puede introducirse con pérdidas mínimas, mientras que las estimaciones de un mal modelo no permitirán comprimir tanto o con tanta calidad.

Las sub-bandas y los modelos psicoacusticos nos servirán para analizar otro fenómeno auditivo muy importante llamado enmascaramiento simultáneo. El fenómeno de enmascaramiento simultáneo lo podríamos entender como sigue. Imaginemos que estamos en un paraje solitario, donde sólo se oye el trino de los pájaros. Ahora imaginemos que aparece una cascada en este mismo sitio. Es fácil imaginarse que dejaremos de oír a los pájaros y sólo oiremos el ruido del agua, pero eso no significa que los pájaros no sigan ahí, sino tan sólo que su ruido ha quedado *enmascarado* por el de la cascada.

Desde el punto de vista del análisis en frecuencia, vemos en la Fig. 3.29 una señal de 1KHz con una potencia tal que supera el umbral y que, por lo tanto, oímos. Si aparece de forma simultanea otra señal de 0.5KHz y vamos aumentando su potencia llegará un instante en el que no oiremos la señal de 1KHz ya que esta ha sido enmascarada. Esto se debe a que la potencia de una señal hace que la sensibilidad del oído varíe, necesitando más potencia de las señales próximas en frecuencia para poder oírlas.

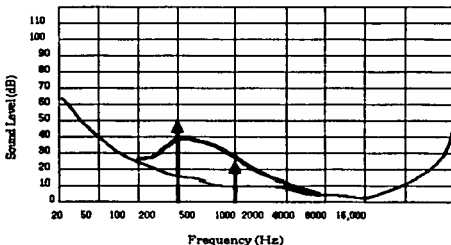


Fig. 3.29 Enmascaramiento en frecuencia

Existe otro tipo de enmascaramiento, el enmascaramiento temporal, que consiste en que un sonido de elevada amplitud que se presenta varios milisegundos antes y varias decenas de milisegundos después enmascara igualmente a los sonidos más débiles inmediatamente anteriores o posteriores, como se ve en la Fig. 3.30. Aunque este fenómeno es más difícil de modelar que el simultáneo, es de vital importancia para el caso de tratar con señales con un perfil temporal muy abrupto (ataques de castañuelas, golpes, etc.).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

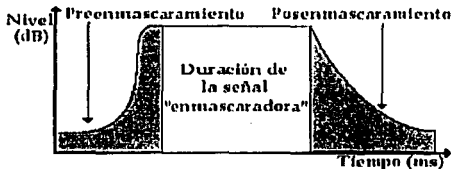


Fig. 3 30 Enmascaramiento temporal

Como se vio anteriormente la codificación de la sub-banda limita el mecanismo de análisis en frecuencia del oído humano y se divide el espectro de audio en un gran número de bandas de frecuencia diferentes con el fin de poder explotar el hecho de que la mayoría de las bandas que contienen señales cuyo nivel es inferior al de la señal más alta. Las señales en estas bandas pueden ser entonces cuantificadas independientemente.

La compresión de los datos de la sub-banda aprovecha el hecho de que los sonidos reales no tienen una energía espectral uniforme. La longitud de la palabra del audio PCM (Pulse Code Modulation) está basada en el rango dinámico⁸ requerido. Cuando una señal con un espectro no uniforme es transmitida por PCM. En su forma más simple, la codificación de la sub-banda funciona dividiendo la señal de audio en un número de bandas de frecuencia y comprimiendo y expandiendo cada banda de acuerdo con su propio nivel.

En la compresión basada en el enmascaramiento auditivo, es preferible que las sub-bandas sean más estrechas para un mejor análisis de las frecuencias. En el ejemplo siguiente Fig. 3.31 muestra la condición crítica en la que el tono del enmascaramiento se encuentra en el límite superior de la sub-banda. Se observará que cuanto más estrecha es la sub-banda, mayor es el ruido que puede enmascarse. No obstante, la utilización de un número excesivo de sub-bandas acentúa la complejidad y el retardo de compresión.

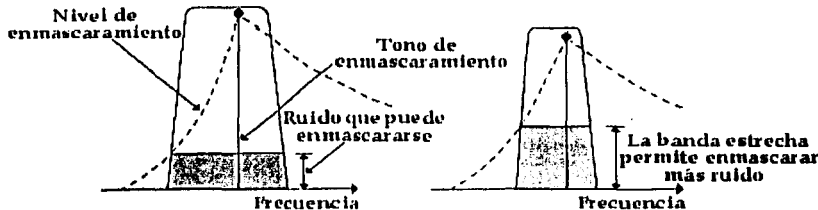


Fig. 3 31 Codificación de la sub-banda

⁸ Rango Dinámico. Es la diferencia expresada en dB's entre el nivel de sonido más alto y el más bajo que un dispositivo es capaz de reproducir

3.3.5.1 Transformada discreta de Fourier (DFT)

Para un manejo más completo de la señal de audio se transforman los datos binarios que están en el dominio del tiempo al dominio de frecuencia, al igual que la señal de video existe una herramienta para el análisis de las sub-bandas, esta herramienta es la transformada discreta de Fourier.

Gracias al análisis de Fourier, podemos definir o reproducir una forma de cualquier señal periódica mediante la suma de un número indeterminado de ondas senoidales; dicho de otro modo, mediante la transformada de Fourier podemos descomponer una forma de onda obteniendo datos de nivel y fase de la frecuencia fundamental y armónicos que la componen. En la Fig. 3.32 vemos un ejemplo de como podemos representar una señal cuadrada con una señal senoidal y sus dos armónicas y en la Fig. 3.33 vemos representadas esa señal senoidal y sus armónicas en el eje de las frecuencias. Un aspecto importante a tener en cuenta es el hecho de que cuanto mayor sea el número de armónicos tratado, mejor fidelidad de representación tendremos en la señal recompuesta.

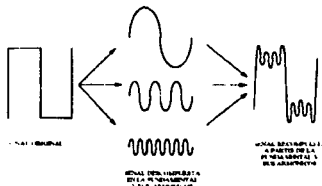


Fig. 3.32 Representación en Fourier de una señal cuadrada

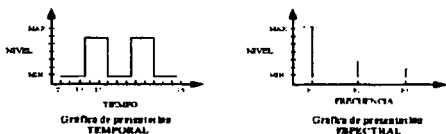


Fig. 3.33 Armónicos de una señal cuadrada

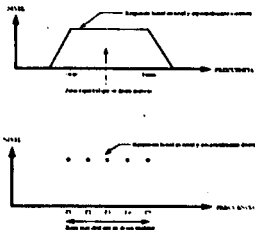


Fig. 3.34 Concepto de discreta de Fourier



Debido a que las señales de audio no son señales periódicas y repetitivas en el tiempo la solución práctica que se utiliza en estos casos es aplicar a dichos bloques un análisis de Fourier que podemos llamar discreto en frecuencia, esto es, analizar zonas temporales o espaciales de señal mediante su relación con frecuencias predefinidas y situadas en puntos concretos del espectro a tratar. Como se observa en la Fig. 3.34.

El problema con la DFT es que tiene una gran número de componentes, por lo que el cálculo de dicha transformada requiere de una gran cantidad de operaciones. Para darnos una idea de lo que consistiría este esfuerzo, podemos decir que el número aproximado de sumas y multiplicaciones que se requieren en un solo análisis espectral de una sub-banda es aproximadamente 135 millones de operaciones, lo que nos indica que necesitamos un tiempo mucho mayor en los procesamientos de la señal de audio.

Afortunadamente, existe un algoritmo de cálculo para evaluar la DFT que reduce drásticamente el número de operaciones y con ello se obtienen dos beneficios. En primer lugar, la reducción de tiempo de los cálculos, y en segundo lugar, el aumento de precisión en el cálculo, ya que al disminuir las operaciones, disminuyen los inevitables errores de redondeo que implica cada operación.

Este algoritmo se denomina FFT, transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transform). El número aproximado de operaciones que requiere el algoritmo FFT, para el mismo caso anterior, se reducen a 2,3 millones. Por tanto, la reducción es de 59 veces menor, y el tiempo de ejecución se reduce considerablemente.

En concreto, dicho algoritmo requiere que las sub-bandas a analizar contengan exactamente 2^n muestras, donde n es cualquier número entero superior a 2. De todas formas, esta limitación es solo relativa, puesto que, si por alguna razón dicha condición no puede cumplirse, siempre es posible rellenar con ceros el segmento hasta completar un número de muestras que sea potencia de 2.

3.4 MPEG

3.4.1 Panorama general del formato Mpeg.

MPEG significa Moving Picture Experts Group. MPEG es un grupo de trabajo, el cual está a cargo de los estándares de compresión, descompresión, procesamiento y codificación de video, así como la compresión de audio.

Este grupo de trabajo tiene en sus filas entre 100 y 150 expertos de 20 países con la misión de desarrollar y autorizar las herramientas de codificación y sus respectivos algoritmos. La organización MPEG ha desarrollado los formatos que actualmente se usan, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, además están en proceso de investigación, MPEG-7, MPEG-21.

3.4.2 Fundamentos de MPEG

Lo primero que debemos aclarar es que MPEG no es un formato de video, y se define como un algoritmo de compresión de datos utilizado en la representación de imágenes dado el volumen de información necesario para representar una imagen en movimiento. Como vimos existen cinco tipos de algoritmos y la principal diferencia entre ellos es la calidad de imagen que ofrecen y el ancho de banda que necesitan.

El estándar MPEG utiliza una combinación de las técnicas de compresión de imágenes sin pérdidas y de imágenes con pérdidas, con la finalidad de que la versión final sea lo más compacta posible, manteniendo un cierto grado de calidad de la señal de video. Para obtener una versión más compacta el algoritmo explota tanto la redundancia espacial que existe en cada cuadro de imagen, así como la redundancia temporal que existe en cuadros sucesivos.

Los fundamentos básicos de MPEG 2 están basados en la plataforma general llamada MPEG-1, por lo que a continuación se analizarán los conceptos básicos de MPEG-1.



3.4.2.1 Imágenes GOP

MPEG-1 se considera como un video solamente progresivo (cuadro a cuadro). Este sistema esta formado por un grupo de imágenes llamadas GOP (Group of Pictures), este grupo esta conformado por tres tipos de imágenes: imágenes Intra-cuadros (I), imágenes predecibles (P), imágenes bidireccionales (B).

Las imágenes I son imágenes que no requieren información adicional para su decodificación. Son codificadas sin ninguna referencia a otras imágenes, es decir, que contiene todos los elementos necesarios para su reconstrucción por el decodificador y son, por ello, el punto de entrada obligatorio para el acceso a una secuencia. La compresión de este tipo de imágenes utiliza técnicas de compresión con pérdidas basada en la DCT, luego utiliza técnicas de compresión sin pérdidas utilizando codificación Huffman.

Las imágenes P se codifican con respecto a las imágenes de tipo I u otra imagen P anterior, gracias a las técnicas de predicción con compensación de movimiento. Como la compensación de movimiento no es perfecta, no se podrá multiplicar indefinidamente el número de imágenes P, ya que se utilizan para decodificar otras imágenes P, de lo contrario se propagaría errores de codificación. Su tasa de compresión es claramente mayor que la de las imágenes I. Las imágenes P requiere de aproximadamente la mitad de los datos de las imágenes I utilizando solo compresión con pérdidas.

Las imágenes B (Bidireccionales) se codifican por interpolación entre dos imágenes de tipo I o P precedentes y siguiente que las enmarcan. Como no se utilizan para describir otras imágenes, las imágenes B no propagan los posibles errores de codificación ya que solo sirven para realizar la codificación bidireccional. Este tipo de imágenes es el que ofrece el factor de compresión más alto, que generalmente es de una cuarta parte de los datos de las imágenes I.

En la Fig. 3.35. podemos ver que un GOP siempre inicia con un cuadro I. Con base en este primer cuadro se hace una estimación de un primer cuadro P, que se encuentra a varios cuadro de distancia hacia delante del cuadro I. Con base en el cuadro I y en el cuadro P estimado, se estiman los cuadro B que se hallan entre el cuadro I y el P. Después, con el primer cuadro P se estima el siguiente cuadro P y con estos se estiman los valores de los cuadros B intermedio. Este proceso continúa hasta que se llega al final del GOP.

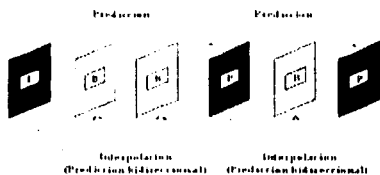


Fig. 3.35 Tipos de imágenes en un GOP

La proporción entre las imágenes I, P y B es conocida como distancia N-M, donde dichos parámetros definen la manera en que las imágenes I, P y B se encadenan, donde:

- M es la distancia (en número de imágenes) entre dos imágenes P (previstas) sucesivas.
- N es la distancia entre dos imágenes I (intra) sucesivas.

Para alcanzar un flujo de video de 1.16 Mb/s con una calidad satisfactoria, MPEG establece los parámetros N/M en: M=3 y N= 12, como vemos la Fig. 3.36. Esto nos da como resultado que la secuencia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de vídeo se compone de 1/12 (8.33%) de imágenes I, 1/4 (25%) de imágenes P y de 2/3 (66.66%)^a de imágenes B. El factor de compresión global se ve favorecido por el hecho de que son las imágenes B y P más frecuentes las que tienen un factor de compresión más alto.



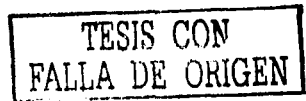
Fig. 3.36 Distribución de los tipos de imágenes un GOP

3.4.2.2 Capas de una secuencia de vídeo MPEG

Cada secuencia de vídeo está compuesta de varias series de GOP's. Un GOP está compuesto de una secuencia de imágenes (cuadros). Un cuadro está compuesto de una serie de rebanadas. Una rebanada está compuesta de una serie de macrobloques, y un macrobloque está compuesto de 6 o menos bloques. Estos bloques se definen como sigue:

1. Bloque (Block).- Es la unidad fundamental de la información de la imagen y esta representada por un bloque de coeficientes DCT, que tienen un tamaño de 8x8 píxeles, los cuales representan datos Y, Cr y Cb. Aquí el coeficiente DC es enviado primero ya que esto representa con mayor precisión la información de este bloque. Los demás coeficientes son enviados al final.
2. Macrobloque (Macroblock). Es la unidad fundamental de la imagen que esta compuesta de varios bloques de píxeles, además está compensada en movimiento. Cada macrobloque es un vector de desplazamiento en dos dimensiones situado en la parte superior de la secuencia. En una imagen B, el vector puede ser hacia adelante o hacia atrás. La escala utilizada para la recuantificación de los coeficientes también es indicada. Usando los vectores, el decodificador obtiene información acerca de las imágenes anteriores y las posteriores, produciendo así una predicción de imágenes. Los bloques son transformados inversamente para producir una imagen de rotificación que es adicionada a la imagen prevista que ha sido producida a la salida del decodificador.
3. Rebanada (Slice). Los macrobloques son reunidos en rebanadas, y aquellas siempre deben representar una fila horizontal que está ordenada de izquierda a derecha. En MPEG, las rebanadas pueden comenzar en cualquier sonido y ser de tamaño arbitrario, pero las ATSC (Advance Television Systems Committee) establecen que ellas deben comenzar en el borde izquierdo de la imagen. Las rebanadas son la unidad fundamental de sincronización para la codificación Huffman. Los vectores iniciales en una rebanada son enviados completamente, mientras que los demás vectores son transmitidos diferencialmente. En imágenes I, los primeros coeficientes DC de las rebanadas son enviados completamente y los demás coeficientes DC son transmitidos en forma diferencial.
4. La Secuencia de Vídeo. La sucesión de vídeo incluye un encabezado de inicio, uno o más GOP's y un código de fin de secuencia. El encabezado contiene información sobre la imagen así como también del tamaño (píxeles x línea), la tasa de transmisión y la frecuencia de cuadro. La secuencia de vídeo es conocida como escala elemental de vídeo. En la Fig.3.37 se muestra las diferentes capas de una secuencia de vídeo.

^a Digital television : MPEG-1, MPEG-2, and principles of the DVB system de Herve Benoit



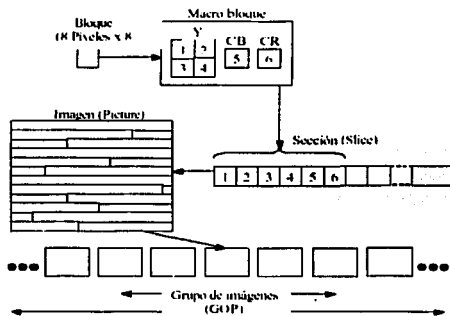


Fig. 3.37 Capas de una secuencia de Video

3.4.2.3 Compensación de movimiento

Cabe aclarar que el concepto de compensación de movimiento se da en las imágenes tipo P y explota la redundancia temporal, este concepto es el que proporciona una máxima eficiencia en la compresión. Como veremos los cuadros están relacionados, i con P, por lo que podemos asumir que una imagen puede ser modelada como una traslación de la imagen anterior. Esto nos da la posibilidad de representar de manera precisa los valores de cuadro basándonos en lo valores del cuadro anterior.

Es en los macrobloques de las imágenes P donde se lleva a cabo la codificación temporal, aquí en donde se introduce el concepto de compensación de movimiento

La compensación es un proceso mediante el cual se mide eficazmente el movimiento de los objetos de una imagen a otra. De este modo se consigue medir qué tipos de movimientos son redundantes entre imágenes.

El concepto de compensación se puede explicar desde un punto de vista práctico. Una imagen completa es codificada y enviada, pero es también guardada para que luego pueda ser comparada con la imagen siguiente para encontrar un vector de movimiento para varias áreas de la imagen. La primera imagen es después movida para luego ser comparada con una segunda imagen y producir una diferencia de datos. Como vemos en la Fig. 3.38 la diferencia de datos que se tiene entre el macrobloque N y el macrobloque N+1 junto con el vector de movimientos que representa al jugador en movimiento, son transmitidos para representar el movimiento. En el decodificador la primera imagen es guardada en la memoria, luego es movida de acuerdo con el vector de movimiento y la diferencia de datos entre los macrobloques N y N+1 es agregada para crear una segunda imagen. Un numero deseado de subsecuentes imágenes pueden ser enviadas como vectores de movimiento y la diferencia de datos con respecto a la primera imagen antes de que el proceso se repita.

En la Fig. 3.38 vemos que los cuadro son instantáneos en el tiempo de un objeto en movimiento, los macrobloques en los dos cuadros pueden no corresponder a la misma localización espacial del objeto en cuestión, por lo tanto, se debe proceder a buscar en el cuadro I para encontrar un macrobloque que coincida lo máximo posible con el bloque que se esta considerando en la imagen P. A este desfase entre macrobloques se llama error de predicción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig.3.38 Compensación de movimiento

3.4.2.4 DCT en MPEG

Teniendo como referencia la clasificación de las imágenes en I, B, P es necesario introducir el concepto de la DCT en MPEG, aunque ya se analizó con anterioridad dicho concepto, MPEG introduce el concepto de barrido, con el fin de poder obtener todos los coeficientes de la DCT.

De manera general la DCT sigue cuatro pasos en MPEG.

1. La imagen original en la forma Y, Cr, Cb se divide en bloques de 8x8 píxeles, la imagen en la Fig.3.39 tiene unas dimensiones de 720x486 píxeles, el formato 4:2:2 nos indica que debo haber cuatro bloques de Y por 2 bloques de Cb y Cr.

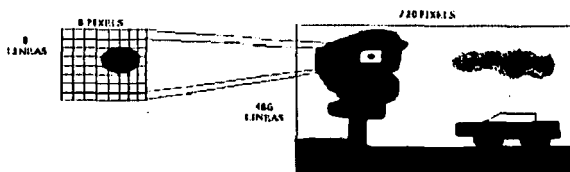
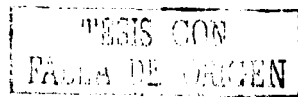


Fig. 3.39 Bloque de una imagen

2. Se calcula la DCT. Se aplica la DCT a cada uno de los bloques Y, Cr, Cb, generando para cada uno de ellos una nueva matriz de 8x8 compuesta por los coeficientes de las componentes de frecuencias espaciales. El valor de estos coeficientes disminuye rápidamente cuando se van alejando del origen de la matriz, terminando generalmente en una serie de ceros. De esta forma si un bloque es de luminancia y color u niformes, únicamente el primer coeficiente (coeficiente DC) no será nulo, y así solo habrá que transmitir un único coeficiente en lugar de 64. Esto nos permite explotar la correlación espacial de los píxeles convirtiéndolos en un conjunto de coeficientes independientes.



3. Discriminación por umbral. Esta etapa tiene en cuenta las particularidades de la visión humana: consiste en poner a cero los coeficientes inferiores a un valor predeterminado y en codificar los coeficientes restantes con una precisión decreciente a medida que la frecuencia aumenta. Otro parámetro de discriminación es el análisis de la energía de los coeficientes. Los coeficientes que presentan mayor frecuencia en un bloque contiene mas energía que los de alta frecuencia. Este proceso permite que los coeficientes de baja frecuencia sean codificados con mayor número de bits, mientras que para los coeficientes de mayor frecuencia se usan menos bits o cero bits en el caso de un macrobloque solo contenga un solo color.

4. Exploración. La exploración es una técnica que sirve para tomar las muestras de una imagen espacial y poder ordenar el tren de coeficientes y hacer el posterior análisis. En un sistema cuadro a cuadro, Fig. 3.40, la probabilidad de hallar coeficientes de mayor peso es más alta en la parte superior izquierda que en la parte inferior derecha, por ejemplo en términos generales vemos que en la parte superior izquierda de una imagen es donde encontramos menor frecuencia de colores. Aquí una exploración en forma diagonal a 45° es la que se denomina una exploración en zig-zag, la cual es la mejor secuencia para emplear en este caso.

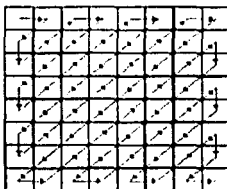


Fig. 3.40 Exploración Zig-Zag

Todo el proceso de compresión de una imagen la podemos resumir en la Fig. 3.41

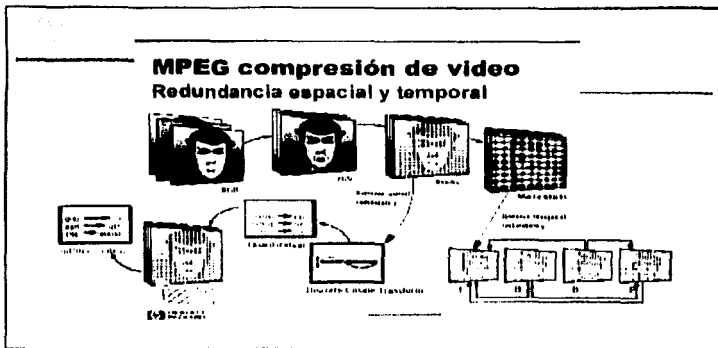


Fig. 3.41 Resumen de las etapas de compresión de una imagen

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.4.3 MPEG-2

El concepto de MPEG-2 es similar al MPEG-1, pero incluye algunas extensiones para cubrir un rango más amplio de aplicaciones como se analizaran mas adelante. La principal aplicación destinada durante el proceso de definición de MPEG-2 fue para las transmisiones de video con calidad de TV codificadas a velocidades entre 5Mbits/s (calidad de una imagen de barrido NTSC) y 10 Mbit/s (calidad de estudio) y no de 1.5 Mbits/s como MPEG-1.

Sin embargo, la sintaxis del MPEG-2 ha sido desarrollada para ser eficiente para otras aplicaciones como las de altas tasas de transmisión y altas velocidades de muestreo (HDTV). La característica más resultante con respecto a MPEG-1 es la sintaxis para codificación eficiente de video entrelazado (TV - analógica).

Sin embargo el sistema de compresión MPEG-2 se puede resumir cuatro importantes ventajas.

1. Independencia del formato de imagen
2. Selectividad de la calidad de la imagen
3. Alta calidad de imagen en velocidades o tasa de bits bajas
4. Conmutación de edición

1. Independencia del formato de imagen

Las técnicas de compresión que utiliza MPEG se puede aplicar a un rango casi continuo de formatos de imagen: desde imágenes de tamaño pequeño (como las que se usan en teleconferencias) hasta arreglos tipo HDTV de dos millones de pixeles. Además las herramientas de MPEG permite la compresión de imágenes entrelazadas (como las formadas por la TV) o imágenes progresivas (cuadro por cuadro).

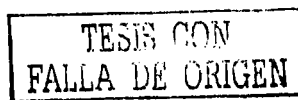
2. Selectividad de la calidad de la imagen

Aunque el algoritmo de compresión de video MPEG tiene varias herramientas de compresión para proporcionar una calidad muy alta para diferentes aplicaciones, forzar el uso de todas las herramientas puede conducir a productos complejos y costosos para aplicaciones que no necesitan de todas. MPEG resuelve este problema definiendo un conjunto de combinaciones posibles de Perfil (Profile) y de Nivel (level). Ver tabla 3.3

N I V E L E S	Perfiles				
	Simple	Principal	SNR	Especial	Alto
Alto		1920x1152 80Mbits/s			1920x1152 100Mbits/s
Alto 1440		1440x1152 80Mbits/s		1440x1152 60Mbits/s	1440x1152 80Mbits/s
Principal	720x576 15Mbits/s Sin imagen tipo B	720x576 15Mbits/s	720x576 15Mbits/s		720x576 80Mbits/s
Bajo		352x288 4Mbits/s	352x288 4Mbits/s		

Tabla 3.3 Perfiles y niveles

Un perfil define un grupo de herramientas de compresión para uso dentro de una clase de aplicaciones con requerimientos comunes. Un nivel especifica los valores máximos que puede tomar el grupo de parámetros de codificación, por ejemplo, tamaño máximo de imagen, tasas de bits. Los niveles y perfiles que se mencionan en la tabla se definen como:



- El nivel low (bajo) corresponde a la resolución de 352 píxeles por 288.
- El nivel main (principal) corresponde a la resolución de 720 píxeles x 576 líneas.
- El nivel high-1440 (alto-1440) está destinado a la HDTV con 1440 píxeles x 1152 líneas.
- El nivel high (alto) está optimizado para la HDTV con 1920 píxeles x 1152 líneas.
- Perfil Simple es el que ofrece pocas herramientas para la compresión.
- Perfil Principal tiene herramientas extendidas o mejoradas del perfil simple y predicción bidireccional. Tendrá mejor calidad para la misma velocidad binaria que el perfil simple.
- Perfil Escalable SNR. Este tipo de perfil nos permite tener una interoperabilidad entre varios servicios y flexibilidad en los receptores, de forma que aquellos que no sean capaces o no deseen la reconstrucción del video a la resolución completa en que fue codificada, puedan decodificar a una resolución menor, o con menos calidad. Este aspecto es importante en la compatibilidad entre HDTV y la definición estándar de TV, de modo que un receptor HDTV pueda interpretar también la señal convencional.
- Perfil Alto incluye todas las herramientas de las versiones anteriores y mejoradas. Tiene la habilidad de codificar diferencias de color entre líneas simultáneamente.

La combinación de las especificaciones de perfil nivel define un punto de cumplimiento de la norma MPEG permitido por las tasa de transmisión. La más popular de estas combinaciones es la de perfil principal (main profile) en nivel principal (main level), MP @ ML, que se ha convertido en la base a nivel mundial de todo el suministro y almacenamiento de Televisión de Definición Estándar (SDTV) para aplicaciones al consumidor. Sin embargo se pueden utilizar otros perfiles ya sean mas sencillos o mas complicados, solo que la tasa de transmisión baja o aumenta según sean el caso, como se ve en la Fig. 3.42, donde se muestra las combinaciones de niveles y perfiles y sus tasas de transmisión.

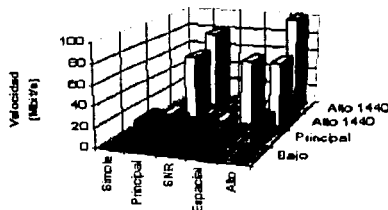


Fig. 3.42 Niveles y perfiles y su tasa de transmisión

3. Alta calidad de imagen en velocidades o tasa de bits bajas.

La misión original del comité de MPEG era crear la más alta calidad de imagen codificada a las tasas de bits más bajas posibles para los requerimientos de la aplicación deseadas. Para lograrlos, MPEG desarrollo nuevas técnicas de compresión de video que explota no solo la redundancias espaciales de una imagen, sino también la redundancia temporal que se encuentra sobre un numero de cuadro. MPEG creo el concepto de Grupo de Imágenes GOP. Este concepto facilita altos niveles de calidad de imagen a bajas tasas de transmisión.

4. Conmutación de edición.

Este sistema de compresión permita realizar aplicaciones de post-producción (inserción de audio, manipulación de imágenes) sin problema alguno, inclusive acceso fácil a imágenes individuales para ediciones muy complejas.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

MPEG-2 Maneja también secuencias de imágenes GOP's, el bloque de bits es 8x8 y el macrobloque está compuesto de 4 bloques, y cada rebanada contiene un macrobloques. Como se muestra en la Fig. 3.43

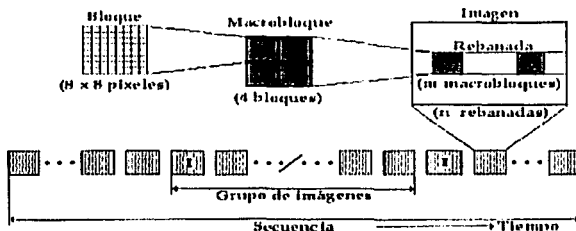


Fig. 3.43 Secuencia de video on MPEG-2

Una diferencia que hay que destacar para las rebanadas, es que en MPEG-2 no necesariamente abarcan toda la imagen, y además deben estar compuestas únicamente de macrobloques contiguos situados en la misma línea horizontal. Como se ve en la Fig. 3.44

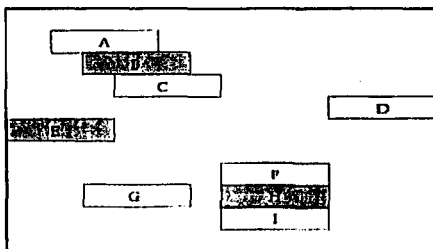


Fig. 3.44 Ejemplo de distribución de rebanadas en MPEG-2

Otro aspecto que agrega MPEG-2 es el análisis de imágenes de TV o entrelazadas, se manejan dos tipos de estructura, la estructura frame y la estructura field. Dependiendo del trabajo a realizar, estas pueden ser tratadas de manera diferente según la importancia de los movimientos entre los dos campos de una misma imagen, los casos extremos son, por un lado, cuando se transmiten películas cinematográficas por televisión "telecine" donde no hay movimiento entre los dos campos de TV, puesto que proceden de la exploración del mismo fotograma de la película, y por otro lado, las imágenes de video de acontecimientos deportivos, donde puede haber importantes movimientos entre los dos campos de una imagen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.3.1 La estructura "FRAME"

También llamada "progresiva", es apropiada para los casos donde hay poco movimiento (telecine) entre dos campos sucesivos. Como vemos en la Fig. 3.45 los bloques y macrobloques se dividen en la imagen completa igual que para en MPEG y la DCT se efectúa sobre rebanadas que están separadas verticalmente en 40 ms en el tiempo, lo que no plantea problemas si los dos campos difieren poco como sucede en el barrido de la TV analógica.

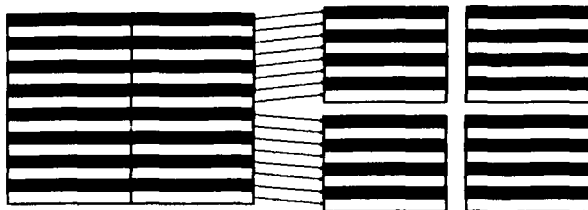


Fig. 3.45 Estructura Frame

3.4.3.2 La estructura "FIELD"

También llamada "entrelazada", es preferible cuando el movimiento de un campo a otro es importante. En este caso, a fin de evitar un elevado contenido en frecuencias verticales elevadas que reduciría la eficacia de la compresión tras efectuar la DTC, la división de los macrobloques se hace considerando cada una de las rebanadas como una imagen independiente en el interior del cual se toman los macrobloques y los bloques, como vemos en la Fig. 3.46.

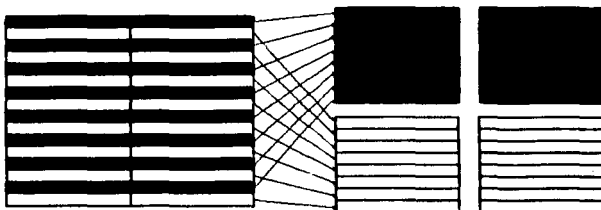
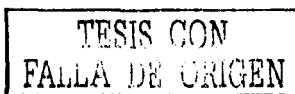


Fig. 3.46 Estructura Field

3.4.3.3 Exploración en TV

MPEG-2 también agrega el tipo de exploración que se sigue después de haber aplicado la DCT a una imagen de TV. En una exploración para una fuente entrelazada, Fig. 3.47 se observa que la exploración se extiende dos veces más por encima del área vertical, de este modo se pueden conseguir más detalles acerca de la imagen. Las frecuencias verticales aparecen dos veces más que las frecuencias horizontales, es decir que existe mayor probabilidad de encontrar un color sobre bloques verticales que sobre bloques horizontales. Por tanto, la exploración ideal para una imagen entrelazada será sobre una



diagonal de 67.5°. En esta misma figura muestra que esta forma de exploración, entrega primero las frecuencias espaciales verticales y luego las frecuencias espaciales horizontales.

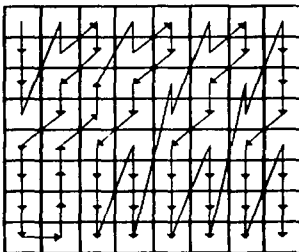


Fig. 3.47 Barrido Para un cuadro de TV.

3.4.4 Codificación MPEG de audio

La plataforma general MPEG soporta tres frecuencias de muestreo: 32kHz, 44.1kHz (calidad CD) y 48 (calidad de estudio), todas ellas aplicadas a una señal cuantizada a 16 bits con codificación PCM, el formato maneja cuatro modos de trabajo:

- Estéreo: Aunque comparte bits los canales izquierdo y derecho se codifican de manera completamente independiente
- Estéreo conjunto: aprovecha la redundancia entre los canales izquierdo y derecho a fin de reducir el flujo.
- Mono: un solo canal de sonido
- Mono Dual: los dos canales son codificados independientemente.

Una señal de audio sin comprimir presenta una tasa de transmisión en promedio de 14412 Mbit/s lo cual impide una tasa de transmisión sin compresión de la señal de audio, ya que MPEG-1 propone una tasa de transferencia de 1.5 Mbit/s. De ellos aproximadamente 0.3 Mbit/s se dedica al audio y 1.2 Mbit/s se dedican a la señal de video. Por lo que existe la necesidad de hacer una reducción con factor de compresión entre 2.7 y 12.

Para resolver este problema la organización MPEG maneja tres capas o layer, cada capa es diferente en complejidad, retardo y calidad de sonido, estas capas se definen como sigue:

Capa 1

Es la que ofrece la menor calidad de sonido. Utiliza el algoritmo llamado PASC (precision adaptive sub-band coding) desarrollado por PHILIPS para su cassette de audio digital. Utiliza una tasa de transmisión de 32 a 448 Kbits/s; esto permite calidad Hi-Fi, la cual necesita una tasa de transmisión de 192 Kbits/s por canal de audio. Su principal ventaja es la relativa sencillez para implementar los circuitos de codificación y decodificación.

En la Fig. 3.48 se muestra en bloques las fases de codificación en MPEG de la capa 1 de acuerdo a la norma ISO 11172-3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

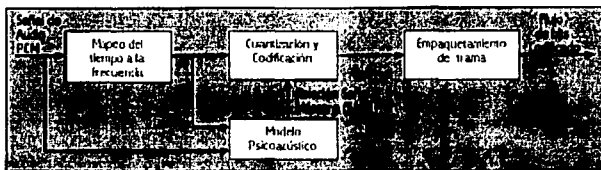


Fig. 3.48 Compresión de audio según la norma ISO 11172-3

1. La capa de frecuencia divide la banda de frecuencia del oído en 32 sub-bandas por medio de filtros paso bandas, cada filtro analizara 1/32avo de la banda de frecuencia, cada sub-banda aporta 12 muestras para un total de 384 muestras para todas la sub-bandas y cada sub-banda recibe el tratamiento digital de la señal así como su respectivo análisis de Fourier.
2. El módulo psicoacústico utiliza una FFT de 512 puntos para obtener información espectral detallada de la señal. El resultado de la aplicación de la FFT se utiliza para determinar los enmascaramientos en la señal, cada uno de los cuales produce un nivel de enmascaramiento, según la frecuencia, intensidad y tono. Para cada sub-banda, los niveles individuales se combinan y forman uno global, que se compara con el máximo nivel de señal en la banda.
3. El bloque de cuantización y codificación examina las muestras de cada sub-banda, encuentra el máximo valor absoluto y lo cuantiza con 6 bits. Este valor es el factor de escala de la sub-banda. A continuación se determina la asignación de bits para cada sub-banda minimizando el NMR (noise-to-mask ratio) total. Es posible que algunas sub-bandas con un gran enmascaramiento terminen con cero bits, es decir, no se codificará ninguna muestra. Por último las muestras de sub-banda se cuantizan linealmente según el número de bits asignados a dicha sub-banda concreta.
4. El "EMPAQUETAMIENTO DE TRAMA" se encarga de formar un flujo MPEG válido. Cada trama comienza con información del encabezado para sincronización y control, además de un CRC (Código de Redundancia Cíclica) para detección y corrección de errores. Como se ve en la Fig. 3.49

Cabecera		CRC			Audio		AD
Cabecera	Paridad	Asignación	Factores	Muestras de Sub-banda (MT-SB)		Datos	
32 bits	16 bits	bits/MT-SB	de escala	(12 x 32 muestras de Sub-banda)		auxiliares	

Fig. 3.49 Estructura de una trama MPEG de audio para capa 1

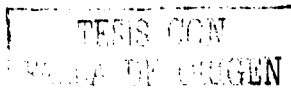
En la Fig. 3.49 se distinguen los siguientes grupos:

- La cabecera transporta los datos de sincronización
 - La utilización de paridad (CRC) es optativa.
 - En el campo de asignación de los bits/MT-SB⁷ se define la resolución de codificación (de 0 a 15 bits) de las muestras de cada una de las 32 sub-bandas.
 - El campo factor de escala indica el factor de escala de cada sub-banda.

Capa 2

Su algoritmo se conoce bajo el nombre de MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding An Multiplexing), es el estándar desarrollado para la radio (DAB⁸) y televisión (DVB⁹) digitales europeas y luego adoptado por la organización MPEG. Permite obtener una calidad equivalente

⁷ MT-SB Muestra de Sub-Banda
⁸ DAB. Digital Audio Broadcasting.
⁹ DVB. Digital Video Broadcasting



que el de la capa 1 con un flujo menor (reducción del 30% al 50%), a costa de un incremento moderado de la complejidad tanto del codificador como del decodificador.

El esquema de la capa 2 sigue el mismo principio de la Fig.3.48 y es el siguiente.

1. El número de sub-bandas es igual que la capa 1
2. El modelo psicoacústico es similar, salvo que utiliza una FFT de 1024 puntos para obtener mayor resolución espectral.
3. El bloque de cuantización y codificación también es similar, generando factores de escala de 6 bits para cada sub-banda. Sin embargo, las tramas de la capa 2 son tres veces más largas que las de la capa 1, de forma que se concede a cada sub-banda tres factores de escala, y el codificador utiliza uno, dos o los tres, según la diferencia que haya entre ellos. La asignación de bits es similar a la de la capa 1. Las muestras de sub-banda se cuantizan y a continuación se asocian en grupos de tres, llamados gránulos. Cada uno se codifica con una palabra clave, lo que permite interceptar mucha más información redundante que en el esquema 1.
4. El empaquetamiento de la trama usa la misma estructura de encabezado y CRC de la Capa 1. Sin embargo, el número de bits usados para describir la repartición de bits varía con la sub-banda: cuatro bits para las sub-bandas de baja frecuencia, tres bits para las sub-bandas de media frecuencia y dos bits para las sub-bandas de altas frecuencias. En la Fig. 3.50 se define la trama de la capa 2.

Cabecera		Audio					AD
Cabecera	Paridad	Asignación	Factores de escala	Selección SCFSI	Muestras de Sub-banda (MT-SB) (3 porciones de 12 muestras de Sub-banda por cada una)	Datos auxiliares	
32 bits	16 bits	bits/ESB		SCFSI			

Fig. 3.50 Estructura de una trama de audio para capa 2

En la Fig. 3.50 Distinguimos los siguientes grupos:

- La cabecera transporta los datos de la sincronización.
- La utilización de la paridad (CRC) es optativa.
- El campo asignación de los bits/MT-SB define la resolución de codificación de los muestreos de cada una de las sub-bandas
- El campo SCFSI (Scale Factor Selection Information) indica si el factor de escala de la sub-banda se aplica a toda la trama o si hay 2 o 3 factores de escala diferentes.
- El campo factor de escala indica el factor multiplicador de los muestreos en que fueron cuantificados para la porción de trama definida por SCFSI.

Existen dos versiones de esta capa en el estándar MPEG-2 para audio. La primera es compatible con MPEG-1 y esta descrita anteriormente. Sin embargo, la segunda versión de MPEG-2 (aprobada en abril de 1997) no es compatible con MPEG-1. La nueva versión recibe el nombre de MPEG-2 AAC (Advance audio coding) para ello utiliza un banco de filtros de alta resolución, técnicas de predicción de sonido y una compresión sin error.

Capa 3 o MP3.

Es de desarrollo más reciente y utiliza un modelo psicoacústico diferente (llamado modelo 2), además hace un análisis de la señal basado en la DCT en vez de la codificación en sub-bandas de las capas 2 y 3, e incluye codificación Huffman. Están permitidos los dos tipos de codificación joint y estéreo. Permite un flujo variable y una tasa de compresión aproximadamente dos veces más elevada que la capa 2, a costa de una complejidad claramente mayor del codificador y del decodificador, así como de un tiempo de codificación/decodificación más largo. Su uso se da principalmente en INTERNET por lo que solo se menciona.



En la siguiente tabla 3.4 percibimos mejor las diferencia entre capas:

Las capas de MPEG-1		
Capa	Factor de compresión	Tasa de transmisión (kbit/s)
1	4:1	384
2	De 6:1 a 8:1	192 – 256
3	De 10:1 a 12:1	112 – 128

Tabla. 3.4 Diferencias entre capas

Las capas MPEG de audio soportan compatibilidad ascendente entre ellas, es decir, que un decodificador de capa 3 decodificará también las capas 1 y 2, y que un decodificador de la capa 2, normalmente decodificará la capa 1, a excepción del caso de MPEG-2 ACC.

3.5 Multiplexión

3.5.1 Tipos de multiplexión

La multiplexión la podemos definir como una función que nos permite que dos o más fuentes de datos compartan un medio de transmisión común de tal forma que cada fuente de datos tenga su propio canal y surge de la necesidad de enviar la información a través de un medio ya establecido. La multiplexión ocurre tanto en el hardware (multiplexión de las señales eléctricas) como en el software (el software de protocolo puede aceptar mensajes enviados por varios programas de aplicación y luego enviarlos por un solo medio a varios destinos).

Hay tres tipos básicos de multiplexión y estos son:

1. Multiplexión por división de Frecuencia, FDM, Frequency Division Multiplexing.
2. Multiplexión por división de tiempo, TDM, Time Division Multiplexing.
3. Multiplexión estadística, SM, Statistical Multiplexing.

1. Multiplexión por división de frecuencia.

Técnica general de multiplexión que permite que varios transmisores envíen datos por un medio común; puesto que cada transmisor usa una frecuencia diferente o subcanales de frecuencia, varios transmisores pueden transmitir de manera simultánea sin interferencia. Como vemos en la Fig. 3.51 el ancho de banda se reparte entre las diferentes señales a transmitir.

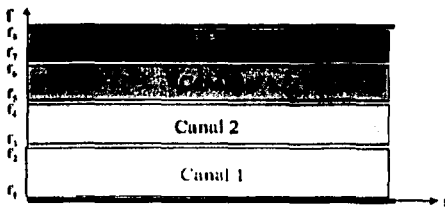


Fig. 3.51 Multiplexión por división de frecuencia.

Este método tiene la ventaja de que en un instante de tiempo dado t_1 todos los canales transmiten simultáneamente pero con la desventajas de que una vez establecidos los subcanales difícilmente se pueden adicionar más.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Cabe señalar que el método utiliza guarda-bandas que son porciones no usadas del ancho de banda las cuales separan cada par de frecuencias unas de las otras, con esto se busca eliminar la interferencia entre subcanales; en la Fig. 3.51 vemos las separaciones entre las bandas de frecuencias. FDM se emplea en multiplexión de usuarios telefónicos, radio y TV que requieren el uso continuo del canal.

2. Multiplexión por división de tiempo.

La multiplexión por división de tiempo es una técnica que es útil para compartir un canal de transmisión entre varios usuarios. Consiste en asignar a cada usuario, durante un determinado tiempo la totalidad del ancho de banda disponible, como se ve en la Fig. 3.52. Esto se logra organizando el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas, y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada. De esta forma, el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda, y así sucesivamente, hasta que se encuentre una trama de inicio nuevamente.

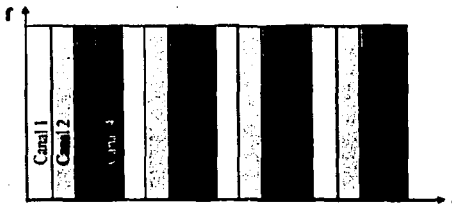


Fig. 3.52 Multiplexión por división de tiempo.

La ventaja es que en un instante t , uno y solo uno de los canales transmite y utiliza todo el ancho de banda del medio, lo que permite un gran número de canales sacrificando el tiempo total del sistema. Con la desventaja que la transmisión no es simultánea y la información tiene que dividirse en varias partes (tramas) antes de ser transmitida.

El uso de esta técnica es posible cuando la tasa de transmisión de las múltiples señales a transmitir excede el ancho de banda del canal. El multiplexor¹⁰ por división en el tiempo explora cíclicamente las señales de entrada (datos de entrada) de los diferentes usuarios, y transmite las tramas a través de una única línea de comunicación en un tiempo que le corresponde a cada entrada.

3. Multiplexión estadística.

En situaciones reales ningún canal de comunicaciones permanece continuamente transmitiendo, de forma que, si se reserva automáticamente una porción del tiempo de transmisión para cada canal, existirán momentos en los que, a falta de datos del canal correspondiente, no se transmita nada y en cambio otros canales esperen innecesariamente. La idea de esta multiplexión consiste en transmitir los datos de aquellos canales que, en cada instante, tengan información para transmitir. Esto hace que la multiplexión estadística sea más eficiente que la multiplexión por división de tiempo. En la Fig. 3.53 vemos como a cada canal se le asigna de manera dinámica un canal de transmisión de acuerdo a su uso.

¹⁰ Multiplexor. Dispositivo que permite que distintas líneas de comunicaciones compartan el canal de datos de un ordenador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

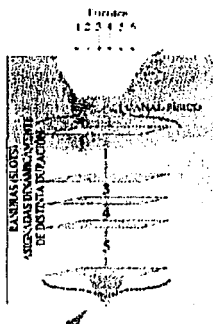


Fig. 3.53 Multiplexión Estadística.

3.5.2 Multiplexión en MPEG

El empaquetado es el mecanismo elemental usado en MPEG para transportar datos de video y audio ya comprimidos, así como otros datos para los decodificadores MPEG. El método usado es multiplexión por división de tiempo de paquetes de datos. Una señal de video o audio comprimido resulta en un flujo (Stream) de bits llamado Flujo elemental (Elementary Stream, ES), luego cada flujo elemental es dividido en paquetes que constituyen un flujo elemental empaquetado (Packetized Elementary Stream, PES). Esta división en paquetes tiene la finalidad de agrupar datos en bloques de tal manera que se puedan marcar y agregar información adicional acerca de dichos paquetes. Como vemos el PES es el nivel básico del sistema de capas para multiplexión de MPEG, dichos paquetes pueden transportar diferentes flujos de audio y video.

El PES esta formado de 2 partes muy importantes, la cabecera o encabezado y los datos a enviar (carga útil) como se observa en la Fig. 3.54 El encabezado contiene información acerca del destino del dato, de la fuente de la información si forma parte de otro grupo de PES, detalles de cómo reconstruir toda la información, sobre todo cuando dicha información esta esparcida entre múltiples paquetes.

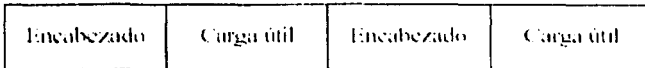


Fig. 3.54 Estructura general de una PES

Sin embargo es la organización MPEG mediante norma ISO/IEC 11172 (MPEG-1) la que define las reglas para la constitución de una capa de multiplexión (system layer) que agrupa el video, el audio y los datos privados¹¹ en un solo tren, con el fin de dar una estructura formal del empaquetado

¹¹ Los datos privados es la información personal del usuario en la TV interactiva.



Las cuatro funciones básicas de la capa de sistema de MPEG que envuelve o empaqueta la capa de compresión son las siguientes:

- Sincronización de los múltiples trenes elementales comprimidos en la reproducción.
- Combinación de estos trenes múltiples en un solo tren de datos.
- Inicialización de las memorias intermedias (buffers) al comienzo de la reproducción.
- Por último, identificación del tiempo de decodificación por marcadores (time stamps).

La codificación MPEG-1 tiene la misión de realizar la compresión de los datos de vídeo y audio, después la multiplexión de esta información y de los datos privados, añadiendo la información necesaria para su sincronización y otras relativas a los recursos necesarios para la decodificación del tren binario MPEG-1.

En la Fig. 3.55 se observa la cabecera de cada PES según la norma establecida, empieza con un Prefijo de Código de Comienzo (Start Code Prefix) de 32 bits seguido por una cadena ID que identifica el contenido del paquete si es audio, vídeo o datos privados. Una de las partes más importantes de la estructura es el marcador de decodificación (Decode Time Stamp, DTS) y el marcador de presentación (Presentation Time Stamp, PTS). En la codificación bidireccional, una imagen tendría que ser decodificada un tiempo antes de que se muestre para permitirle actuar como referencia para una imagen B. El DTS indica el momento que una imagen debe ser decodificada y el PTS indica cuando tiene que ser presentada a la salida del decodificador.

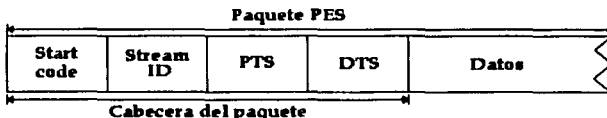


Fig. 3.55 Estructura de un PES

En la Fig. 3.56 vemos la importancia del DTS y PTS. Primero se recibe una imagen I con sus respectivas marcas de tiempo DST y PTS, estas marcas de tiempo son separadas en un período de imagen. Si la codificación es bidireccional, una imagen P debe seguir y esta también vendrá con marcas de tiempo DTS y PTS, pero la separación entre las dos marcas de tiempo es de tres periodos de imagen (como se vio la distancia entre una imagen I y una P es de dos imágenes B), para permitir la inclusión de la imagen B. De este modo una secuencia IPBB es recibida. I es demorada un periodo de imagen, P es demorada tres periodos de imagen, las dos imágenes B no son demoradas y la presentación de la secuencia descodificada es IBBP.

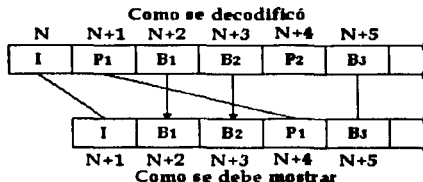


Fig. 3.56 Decodificación de una secuencia IPB.

En los paquetes de audio existen marcas de tiempo del tipo PTS, los paquetes de audio nunca son transmitidos fuera de secuencia como en las imágenes IBBP, entonces aquí no hay marcas de tiempo del tipo DTS.



Los PTS y DTS sirven también para sincronizar las funciones de decodificación de audio y video, enviándose con relativa frecuencia (la norma especifica un intervalo máximo de 0.7 segundos).

En la Fig. 3.57 vemos que una serie de PES de audio y video se pueden agrupar en paquetes más grandes llamados flujos de programa (Program Stream, PS) y en la norma MPEG reciben el nombre Pack.

Los varios PES que conforman el flujo de programa se codifican usando un reloj de referencia maestro de control (System Time Clock, STC). La cabecera del pack (pack header) de este grupo proporciona la información de tiempo y de tasa de transmisión por medio de los campos de referencia del SCR (System Clock Reference) sobre 33 bits. Los campos SCR se utilizan para sincronizar en el decodificador el STC que oscila a 90 KHz y sirve de base de tiempo y de unidad de sincronización para los campos DTS y PTS de los paquetes.

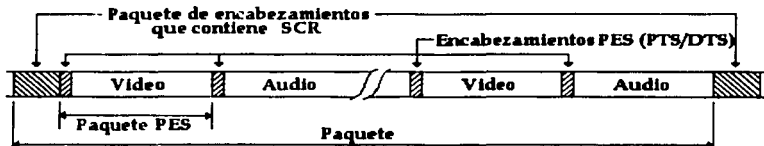


Fig. 3.57 Estructura de una cadena de programa Program Stream Structure

El primer paquete de un tren MPEG contiene obligatoriamente una cabecera de sistema (system header). Este primer paquete resume el conjunto de parámetros del sistema utilizados para el transcurso de este tren (flujo máximo, identificación de los trenes elementales de audio, video y datos, etc). La cabecera del sistema opcionalmente puede ser modificada¹² durante cualquier nuevo paquete en curso del tren MPEG-1 para facilitar el acceso a un punto cualquiera de este tren. Esta cabecera de sistema empieza con un código de inicio de 32 bits, además la norma de MPEG también estipula una cabecera final que termina con un código final, también de 32 bits.

Un PS puede contener hasta 32 PES de Audio, 16 PES de Video y 2 de Datos privados y varios flujos de con información variada para manejo interno (dependiendo si el sistema de transmisión es europeo o americano, como veremos en multiplexión de MPEG-2).

En la Fig. 3.58 se muestra de forma esquemática el contenido completo de un tren según la norma de MPEG-1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹² Dependiendo si es sistema Europeo (DVB) o sistema ATSC

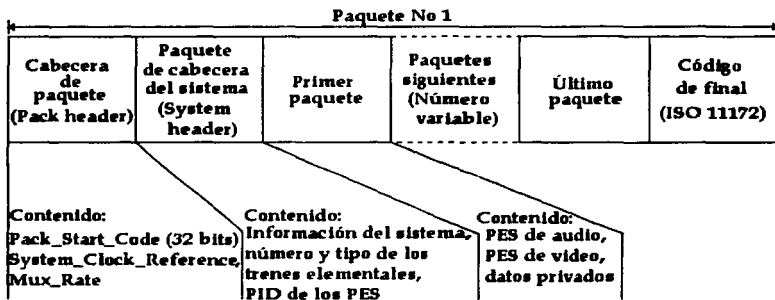


Fig. 3.58 Contenido de un paquete PES de MPEG-1

3.5.3 Multiplexión en MPEG-2

La norma ISO/IEC 13818-1 define la parte del sistema de MPEG-2, esta prevé la organización de la multiplexión de MPEG-2, aquí se prevén dos maneras diferentes de multiplexión de las PES's para formar dos tipos de trenes, dependiendo de la aplicación a la cual esté enfocada, como podemos observar en la Fig. 3.59

1. Tren de programa (Program Stream). El tren "programa" de MPEG-2 se crea a partir de uno o varias PES que deben compartir obligatoriamente el mismo reloj de referencia.

Este tipo de tren esta destinado a aplicaciones donde el dispositivo de almacenamiento o de transmisión sea susceptible de introducir muy pocos errores (error free medium), como es el caso de las aplicaciones multimedia en CD-ROM o disco duro. Aquí, estos paquetes pueden ser relativamente largos (por ejemplo de 2.048 bytes) y dado que está organizada de manera similar a un tren "sistema" MPEG-1, no se entrará en detalles.

2. Tren de transporte (Transport stream). El tren transporte de MPEG-2 está principalmente destinado al transporte de programas de televisión a larga distancia sobre medios susceptibles de introducir un índice de error medio (error prone medium); la longitud de los paquetes debe ser relativamente corta para permitir la introducción de los dispositivos de corrección de errores eficaces, como veremos en el capítulo siguiente.

La longitud de los paquetes transporte de MPEG-2 ha sido fijada por la norma en 188 bytes, dicho valor esta reservado especialmente para las emisiones vía satélite, cable.

El tren de transporte para TV esta destinado a combinar varios programas que no comparten forzosamente el mismo reloj de sistema (STC) en el interior de un mismo multiplexor. Las diferentes PES (video, audio, etc.) que forman un programa dado, deben sin embargo compartir el mismo reloj con el fin de poder ser sincronizados por el decodificador.



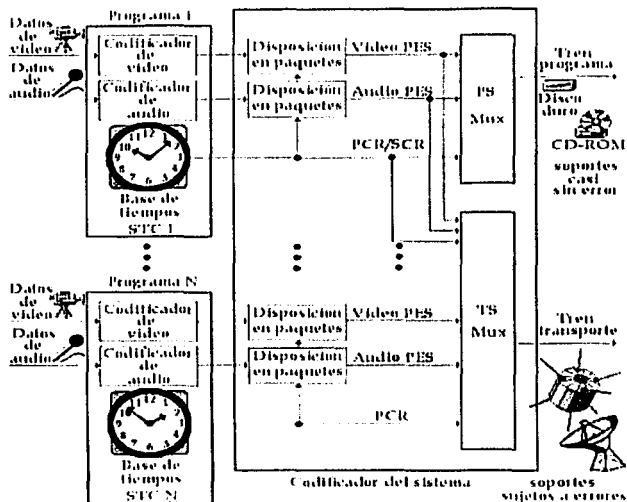


Fig.3.59 Esquema conceptual de la generación de tramos de programa y transporte MPEG-2

En la Fig. 3.60 se ilustra el proceso de creación de un tron de transporte MPEG-2, del que hablaremos a continuación.

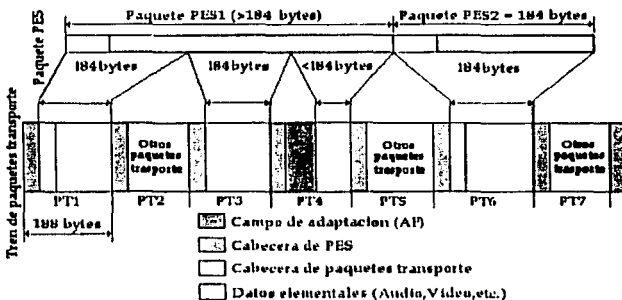


Fig. 3.60 Tren de transporte de MPEG

UNIVERSIDAD CON
DE ORIGEN

Como vimos la norma ISO/IEC 13818-1 nos indica que los paquetes del flujo de transporte tienen 188 bytes de largo y se subdividen en 4 bytes de encabezamiento y 184 bytes de carga útil, se agrega un campo de adaptación (adaptation field, AF) para el último PES de transporte, como se muestra en la Fig. 3.61. Los datos útiles están formados por paquetes de troncos PES's que componen los programas de televisión transmitidos por el canal, así como cierto número de datos auxiliares que permiten al codificador no perderse por el tron de transporte MPEG-2.

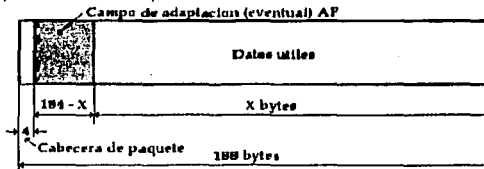


Fig. 3.61 Caso general de un paquete elemental en MPEG-2

La norma indica que el último paquete de transporte de un paquete PES deberá empezar con el campo de adaptación, cuya longitud será el complemento a 184 del número de bytes que quedan por transmitir para terminar este último paquete PES, como se muestra en la Fig. 3.62

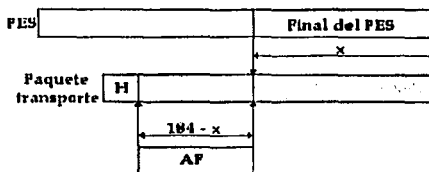


Fig. 3.62 Constitución del último paquete de transporte.

Además de esta función del AF, el campo de adaptación se utilizará también para la transmisión del reloj de referencia del programa (Program Clock Reference, PCR), cuya cadencia de repetición mínima es de 10 veces por segundo.

En la Fig. 3.63 se muestra de manera general en encabezado de un paquete de transporte en MPEG-2 y en la Fig. 3.64 se muestra la estructura completa del encabezado de MPEG-2.

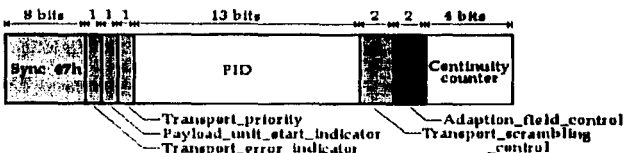
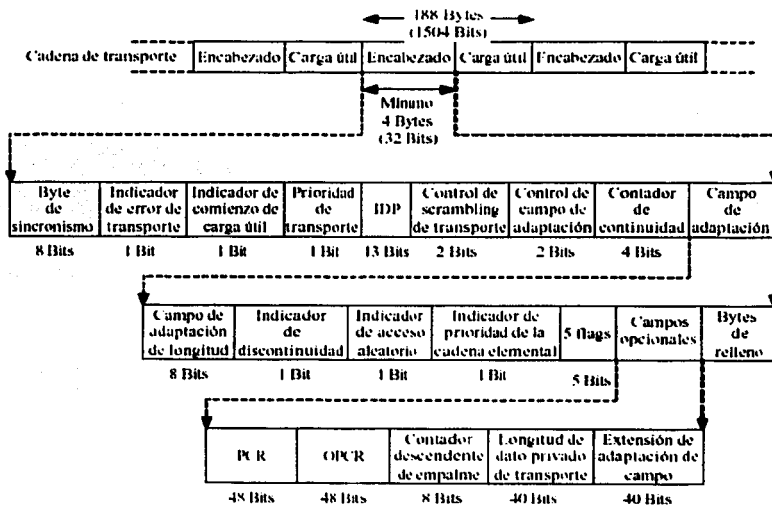


Fig. 3.63 Detalle de la cabecera de transporte de MPEG-2

TESIS CON
FUELA DE ORIGEN



TS: Transport Stream packet

Fig. 3.64 Estructura completa de un paquete de transporte

De la Fig. 3.64 se destacan lo siguientes bloques:

Encabezado

- El byte de sincronización fija el comienzo del TS y permite la sincronización de la transmisión.
- El indicador de error de transporte indica que el paquete puede contener errores.
- En el indicador de comienzo de carga útil se pone a 1 para indicar que el primer byte de los datos del paquete de transporte es también el primer byte de un PES-packet.
- La identificación del paquete (PID). El PID de 13 bits es usado para identificar el canal, este contiene la información requerida para encontrar, identificar y reconstruir programas.
- Control de scrambling de transporte indica si hay codificación en la transmisión y el tipo de código.
- Control de campo de adaptación. Control del Campo de Adaptación en el paquete si es que este es utilizado.
- El contador de Continuidad se usa para determinar si se pierde algún paquete, si se repite o está fuera de secuencia.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Campo de adaptación

- El Campo de Adaptación de longitud. En el encabezamiento hay lugar para un Campo de Adaptación opcional de longitud variable. Cuando se usa, proporciona información adicional sobre los datos transportados y causa una reducción de estos datos para mantener una tasa de transmisión constante constante.
- Las banderas o Flags son indicadores que muestran la presencia o ausencia de varios campos opcionales que pueden estar incluidos en la cabecera de un PES-packet. Estos campos opcionales llevan información complementaria relativa al PES, tales como: si está cifrado o no, prioridad relativa, datos de "copyright", un campo para identificación de errores en el paquete, etc. Estos bits indican respectivamente la presencia de un PTS y de DTS dentro de la cabecera del PES-packet.
- Relleno. Si por alguna razón el PES no llega a los 188 Bytes, el campo es utilizado para que la longitud del PES se el estándar

Campos opcionales:

- El Program Clock Reference (PCR): Son muestras del reloj de 27 MHz usadas por los codificadores de vídeo y audio. Estas muestras mantienen un contexto para interpretar los valores de PTS y DTS en el encabezamiento de las PES. MPEG requiere que el PCR sea enviado diez veces por segundo por lo menos.
- El contador descendente para empalmes (Splice Countdown) es un contador de ocho bits que se decrementa cuando se acerca el punto de empalme potencial. Ayuda a localizar el paquete preciso en el cual debe tener lugar la conmutación.
- El indicador de discontinuidad le dice al decodificador que las rupturas del flujo de transporte son intencionales por consecuencia de conmutar un PES al realizar un empalme y no el resultado de errores del canal.

Según se ha visto en la multiplexión de flujo de transporte MPEG-2 puede contener varios programas audiovisuales, cada uno de los cuales están compuestos por uno o varios flujos elementales PES distribuidos en paquetes de transporte. Estos paquetes a su vez están marcados con un PID que identifica a qué flujo elemental pertenecen.

Sin embargo, para que el decodificador pueda recuperar de manera mas eficiente un programa a través de los valores de los PID de los paquetes correspondientes sobre un gran numero de PES, es necesario incluir información adicional dentro del flujo de transporte que relacione estos PID con los programas a que pertenecen. Tal información se denomina Información Especifica de los Programas (Program Specific Information, PSI).

Esta información específica de los programas es definida por la norma que rige a MPEG-2 para la capa de sistema y comprende la inclusión dentro del flujo de transporte, de 4 tipos de tablas:

1. Tablas de asociación de programa (Program Association Table, PAT)
2. Tablas de acceso condicionado (Conditional Access Table CAT)
3. Tablas de Mapas de programa (Program Map Table PMT)
4. Tablas Privadas (Private)

1. Tablas de asociación de programa, PAT. Esta tabla, de inclusión obligatoria, es transportada por los paquetes con un PID y contiene una lista completa de todos los programas disponibles en el flujo de transporte. Cada programa aparece junto con el valor del PID de los paquetes que a su vez contienen la tabla con los datos que identifican a dicho programa (Program Map Table, PMT).

Como se muestra en la Fig. 3.65 una sola PAT puede contener varias tablas y esta tablas indican los detalles de varios programas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

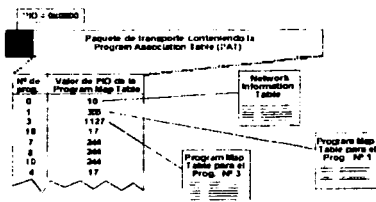


Fig. 3.65 Representación de una tabla PAT

2. Tablas de acceso condicionado, CAT. Esta tabla debe estar presente si al menos un programa de multiplexión es de acceso condicional. Se transporta por los paquetes con un PID, y proporciona detalles de los sistemas de cifrado empleados, así como los valores de los PID de los paquetes de transporte que contienen la información del control de acceso condicional.

Los datos para el acceso condicional se envían en forma de "Entitlement Management Messages (EMM)". En estos "EMM" se especifican los niveles de autorización o los servicios a que pueden acceder determinados decodificadores, y pueden ir dirigidos a decodificadores individuales o a grupos de ellos. El formato de esta información no está especificado en MPEG-2, puesto que depende del tipo de sistema de cifrado empleado, sin embargo la norma MPEG-2 prevé la posibilidad de añadir informaciones complementarias opcionales (DVB-SI, Service Information) que permiten que el receptor se configure automáticamente, al tiempo que ofrece al usuario la posibilidad de "navegar" entre los numerosos servicios que se ofrecen.

3. Tablas de Mapas de programa, PMT. Cada programa audiovisual incluido en un flujo de transporte tiene una tabla PMT asociada con él, dicha tabla proporciona detalles acerca del programa y de los flujos elementales que comprende.

En la Fig. 3.66 se muestra un ejemplo de tabla PMT, mediante esta tabla un decodificador puede determinar si el flujo elemental codificado de vídeo correspondiente al programa nº 3 se encuentra en los paquetes de transporte identificados mediante el PID=726 y que el flujo elemental cuyos paquetes están etiquetados con PID=57 lleva el audio correspondiente en inglés.

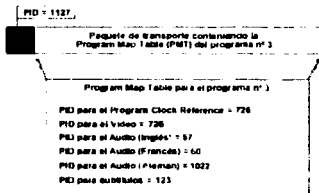


Fig. 3.66 Ejemplo de una tabla PMT

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La Información del Servicio (Service Information, SI), en sistemas Europeos DVB (ETS 300 468) incluye, además, otros 4 tipos de tablas de inserción obligatoria¹³ dentro del Transport Stream y 3 tipos de tablas opcionales, estas tablas ya no están regidas por la norma de MPEG:

Obligatorias:

- Tabla de información de la red (Network Information Table, NIT)
- Tabla de descripción del servicio (Service Description Table, SDT)
- Tabla de información eventual (Event Information Table, EIT)
- Tabla de hora y fecha (Time & Date Table, TDT)

Opcionales:

- Tabla de asociación de servicios (Bouquet Association Table, BAT)
- Tabla de actualización (Running Status Table, RST)
- Tabla de horario local (Offset Table, TOT)
- Tabla de relleno (Stuffing Tables, ST)

De las tablas anteriores mencionaremos solo la tabla NIT ya que dicha tabla muchas veces es enviada dentro de un flujo de transporte MPEG por la empresa radiodifusora. Esta tabla proporciona información acerca de la red física usada para transmitir el Flujo de transporte, como por ejemplo: frecuencias del canal, detalles del transpondedor del satélite, características de modulación, detalles de redes alternativas disponibles, etc.

Las tablas antes mencionadas están constituidas según su importancia, por una o varias secciones (256 secciones o filas como máximo, con una longitud máxima de 1.024 bytes excepto para tablas tipo "Private" y EIT que pueden alcanzar los 4.096 bytes). Dichas secciones están distribuidas a lo largo de una serie de paquetes de transporte identificados con un PID común.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹³ Las tablas DVB se consideran tablas privadas y dependerán del sistema de transmisión.

Capítulo 4 Transmisión

4.1 Sistemas de Transmisión Terrestre de Televisión Digital DTV

Después de una década de investigación y desarrollo, la radiodifusión terrestre de la televisión digital (Digital Television Terrestrial Broadcasting DTTB) finalmente alcanzó el nivel de implementación. Los servicios DTTB están disponibles en Norteamérica y Europa desde Noviembre de 1998. Muchos países ya anunciaron su selección de un sistema DTTB y su plan de implementación. Existen tres estándares de transmisión DTTB:

- 1) ATSC (Advance Television Systems Comitee) en los E.U.A. Utiliza codificación treillis¹ de 8 niveles banda lateral residual 8-VSB (Trellis code 8 Level Vestigial Side-band), para modulación.
- 2) Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) en Europa. Emplea codificación ortogonal multiplexado por división de frecuencia (COFDM).
- 3) Terrestrial Integrate Service Digital Broadcasting (ISDB-T). Sistema adoptado en Japón para la Transmisión por banda segmentada (BST) OFDM.

Desde que hay más de un sistema DTTB, muchos países y administraciones se encuentran ahora en el proceso de selección de un sistema DTTB. Cada país tiene características y necesidades específicas, tales como el uso del espectro, requerimientos de cobertura y estructuras de redes de transmisión; condiciones de recepción, tipo de servicio requerido, costo a los consumidores y radiodifusores, etc. La Fig. 4.1 muestra los sistemas adoptados por diferentes países hasta el año 2000.

Digital Standards - Worldwide

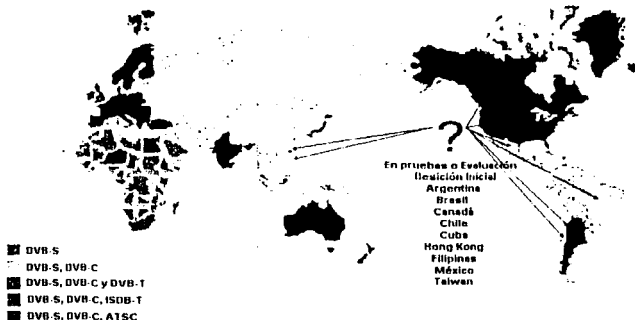


Fig.4.1 Selección de servicios DTV en el mundo

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

¹Trellis se refiere al método de asignación de redundancia de los datos, el número 8 se refiere, a los niveles de señal que son utilizados para representar una combinación particular de bits

Capítulo 4 Transmisión

4.1.1 ATSC 8-VSB²

El sistema ATSC fue diseñado para transmitir alta calidad de audio, video y datos (HDTV) sobre un canal de 6 MHz. Fue desarrollado para radiodifusión terrestre y distribución por cable. Puede manejar 19.4 Mbit/s a través de un canal terrestre de 6 MHz y 38.8 Mbit/s en un canal de televisión por cable de 6 MHz, y puede ser escalado a cualquier canal (6, 7 ó 8 MHz) con su correspondiente escalamiento en la capacidad de datos. Permite la colocación de un transmisor digital adicional para cada transmisor existente NTSC en los mismos términos de área y cobertura de población para poder acoplar cuidadosamente el transmisor digital con las características de una transmisión de RF (Radio Frecuencia) en un ambiente NTSC.

Varias calidades de imágenes pueden ser archivadas con 18 formatos de video (SD ó HD, progresivo ó entrelazado, así como también diferentes velocidades) gran potencial para servicios de bases de datos utilizando la capacidad de transmisión de datos del sistema. El sistema se puede acoplar a servicios de recepción fija y posiblemente móvil.

En E.U.A. se pueden tener 1600 canales adicionales dentro del espectro actual para TV, y puede resistir muchos tipos de interferencia existentes en los servicios analógicos NTSC TV, como lo son: Ruido blanco, ruido de impulso, ruido de fase, onda continua y reflexiones pasivas (multitrayectoria). El sistema es también diseñado para ofrecer eficiencia del espectro. Usa un solo esquema de modulación, 8 niveles de banda lateral residual 8-VSB.

Las principales características del ATSC 8-VSB son listadas en la tabla 4.1

4.1.2 DVB-T COFDM

El sistema DVB-T fue desarrollado por un consorcio Europeo del sector público y privado (Digital Video Broadcasting Project DVB).

Las especificaciones del DVB-T son parte de una familia de especificaciones que también cubren las operaciones por satélite (DVB-S) y por cable (DVB-C). Esta familia permite la distribución de audio y video digital y el transporte de futuros servicios multimedia.

Para radiodifusión terrestre, el sistema fue diseñado para operar con el existente espectro UHF utilizado en los sistemas de transmisión analógicos PAL y SECAM. Se desarrolló para canales de 8 MHz, y puede ser escalado a cualquier canal con otro ancho de banda (8, 7 ó 6 MHz) con su correspondiente escalamiento en su capacidad de datos. Las velocidades disponibles en canales de 8 MHz se encuentran en el rango 4.98 – 31.67 Mbit/s, dependiendo de la selección de los parámetros de codificación de canal y tipos de modulación de canales. Es capaz de acoplarse no solamente con canales Gaussianos, sino también con canales Ricean y Rayleigh³. Es robusto para evitar interferencias de señales de retraso, resultado de reflexiones en la tierra, edificios ó señales de transmisores distantes en arreglos de redes de una sola frecuencia SFN (Single Frequency Network).

El sistema caracteriza un número de parámetros seleccionables (tales como modos de modulación, velocidades de código, y otros) dentro de un rango de radios de portadora a ruido E_b/N_0 (relación que sirve para evaluar el funcionamiento del sistema) y canales disponibles. Permite una recepción fija ó móvil, con un consecuente costo en la velocidad usada.

Este rango de parámetros permite a los radiodifusores seleccionar un modo apropiado para una aplicación específica. En primera instancia, un modo de operación moderadamente robusto (con una correspondiente baja en la velocidad de datos) es necesario para realizar una recepción móvil con una

² Los estándares ATSC y DVB, así como sus parámetros, son explicados con mayor detalle en el Cap. 4.3

³ Los canales Gaussiano, Ricean y Rayleigh son funciones de densidad de probabilidad que modelan el ruido para un canal de comunicación dado.

antena sencilla. Un modo menos robusto con una alta velocidad de datos puede ser usado en servicios planeados en canales con frecuencias intercambiables. El modo menos robusto con gran utilidad puede ser usado para recepción fija y si un canal está disponible, para radiodifusión de televisión digital.

El sistema usa un gran número de portadoras por canal modulado en paralelo vía un proceso de Transformada rápida de Fourier inversa IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), método referido como Multiplexado ortogonal por división de frecuencia (OFDM). Tiene dos modos de operación: un "modo 2K"; y un "modo 8K". Este sistema permite seleccionar diferentes niveles de modulación de amplitud de cuadratura (QAM) y diferentes velocidades de codificación interna, también permite el uso de dos niveles jerárquicos de modulación y codificación de canal, además de un intervalo con anchos de banda seleccionables para transmitir símbolos, el cual permite al sistema soportar diferentes redes de configuración, tales como una larga área SFN's y un transmisor de operación único. El "modo 2K" es deseable para transmisor sencillo y pequeñas redes SFN con distancia limitada entre transmisores. El "modo 8K" puede ser usado para transmisor único y pequeñas o largas redes SFN.

Las principales características del sistema DVB-T COFDM están listadas en la tabla 4.1.

4.1.3 ISDB-T BST-OFDM

El sistema ISDB-T fue diseñado por la Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) en Japón. Es un tipo de radiodifusión que intenta proveer a audio, video y servicios multimedia. Sistemáticamente integra varios campos de contenido digital, los que pueden incluir video multiprograma de baja definición TV (LDTV) a alta definición HDTV, multiprogramas de audio, gráficas, texto, etc.

Desde el concepto ISDB cubre una variedad de servicios, el sistema puede tener un rango de requerimientos que pueden diferir de un servicio a otro. Por ejemplo, una gran capacidad de transmisión es requerida para servicios de HDTV, mientras que un servicio de transmisión confiable es requerido para servicios de datos tales como la liberación de una llave para acceso condicional. Para integrar diferentes requerimientos de servicio, el sistema de transmisión provee un rango de modulación y esquemas de protección de error, los cuales pueden ser seleccionados y combinados para tener cada requerimiento de esos servicios integrados.

Para radiodifusión terrestre, el sistema fue diseñado para tener flexibilidad para entregar TV digital, programas de sonido y servicios multimedia en los cuales varios tipos de información digital tal como video, audio, texto y programas de cómputo serán integrados. También intentan proveer de receptores móviles económicos agregados a los receptores integrados típicamente en las casas.

El sistema utiliza un método de modulación referido como Transmisión por banda segmentada BST (Band Segmented Transmisión), El cual consiste de un conjunto de bloques de frecuencia básica común llamado BST-Segments. Cada segmento tiene un ancho de banda correspondiente a 1/14 del espacio del canal de televisión terrestre. (6, 7, u 8 MHz Dependiendo de la región). Por ejemplo, en un canal de 6 MHz, un segmento ocupa 6/14 MHz equivalente a 428.6 KHz, siete segmentos entonces ocupan 3 MHz.

Además de las propiedades de OFDM, el sistema BST-OFDM provee jerarquías de transmisión usando diferentes esquemas de modulación y velocidad de códigos en los diferentes segmentos BST. Cada segmento de datos puede tener diferentes requerimientos de servicios. Un número de segmentos puede ser combinado para proveer un servicio con un mayor ancho de banda (HDTV por ejemplo). La recepción parcial de servicios contenidos en la transmisión en el canal puede llevarse a cabo mediante un receptor de banda angosta, menor que la de un segmento OFDM.

Trece segmentos del espectro OFDM pueden ser activados para obtener un canal de televisión terrestre.

⁴ Modo 2k (1705 subportadoras: de datos y auxiliares)
Modo 8k (6617 subportadoras: de datos y auxiliares)

El sistema fue desarrollado y probado con canales de 6 MHz pero puede ser escalado a cualquier canal con las variaciones correspondientes en la capacidad de datos.

La velocidad para un segmento de 428.6 KHz en un canal de 6 MHz está entre 280.85 y 1787.28 Kbit/s. La velocidad para un canal de 5.57 Mhz (13 segmentos) en un canal de DTV está entre 3.65- 2.3.23 Mbit/s.

Sistema: ATSC-8-VSB / DVB-T-COFDM			
Codificación de fuente			
Video	Síntaxis del Perfil Principal de ISO/TEC 13818-2 (MPEG-2-video)		
Audio	ATSC Standard A/52 (Dolby AC-3)	ISO/TEC 13818-2 (MPEG-2 Layer II audio) y Musicam	ISO/TEC 13818-7 (MPEG-2 - audio AAC)
Flujo de Transporte	ISO/TEC 13818-1 (MPEG-2 TS) Flujo de transporte		
Sistema de Transmisión			
Codificación de canal			
Codificación externa	R-S (207, 187, t=10)	R-S (204, 188, t=8)	
Entrelazado	52 R-S block entrelazado	12 R-S block entrelazado	
Codificación interna			
Modulación de datos			
Modulación	16-bit PRBS 8-VSB y 16-VSB	16-bit PRBS COFDM QPSK, 16QAM y 64QAM Modulación Jerárquica: Multi-resolución Constelación (16QAM y 64 QAM) Intervalo de Guardia: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 de OFDM 2 modos: 2k y 8k FFT	16-bit PRBS BST-OFDM con 13 segmentos de frecuencia QPSK, 16QAM y 64QAM Modulación Jerárquica: Selección de tres diferentes modulaciones en cada segmento Intervalo de Guardia: 1/32, 1/16, 1/8 y 1/4 de OFDM 3 modos: 2k, 4k y 8k FFT

Tabla 4.1 Principales características de los sistemas DTTB

4.1.4 Resumen de sistemas de transmisión terrestre

En general, cada sistema posee ciertas ventajas y desventajas.

El ATSC 8-VSB es más robusto en un canal con ruido blanco aditivo gaussiano AWGN (Additive White Gaussian Noise), tiene una alta eficiencia del espectro, un bajo ratio de pico promedio de potencia y es robusto al ruido de impulso. Es comparable a los sistemas DVB-T e ISDBT en cuanto a los bajos niveles de interferencia que son mayores en la TV analógica.

Entonces el sistema ATSC 8-VSB puede tener ventajas para implementar redes de multifrecuencia MFN (Multi Frequency Network) y proveer servicios de HDTV con un canal de 6 MHz y receptores fijos.

El sistema DVB-T COFDM posee ventajas respecto a las distorsiones no lineales y también para servicios que requieren redes de larga escala a una frecuencia SFN en el modo 8K y recepción móvil en

el modo 2K. Posee jerarquías de modulación y codificación de canal, las cuales se usan en multi-resolución en portadoras OFDM (16 QAM ó 64 QAM). También está disponible para proveer servicios en canales DTTB.

El ISDB-T BST-OFDM usa el mismo esquema de modulación y codificación de canal que el sistema DVB-T y fue diseñado para operar en SFN de larga escala y particularmente, en un ambiente de recepción móvil.

La finalidad de poder seleccionar diferentes esquemas se relaciona con la calidad de la recepción y la inmunidad requerida al ruido.

4.2 Parámetros de transmisión en TV digital terrestre

4.2.1 Pico a radio de potencia promedio PAR (peak-to Average Power Ratio)

En sistemas de comunicación digital, tales como el sistema ATSC, la señal es aleatoria y semejante al ruido. La potencia promedio de la envolvente describe estadísticamente la potencia pico; de igual forma la potencia instantánea de la envolvente transmitida puede ser tratada como una variable aleatoria. Entonces, la potencia pico puede ser descrita como existente bajo (o sobre) un particular nivel de potencia para un cierto porcentaje de tiempo.

La medición del pico a radio de potencia promedio, es un método basado en histogramas, los cuales se obtienen a partir de muestras discretas de la envolvente sobre un periodo de tiempo y tomando el valor del radio de potencia promedio. Cuando el histograma de las muestras de potencia de la envolvente es integrado, una función de distribución acumulada (FDA) es obtenida, como la que se muestra en la Fig. 4.2

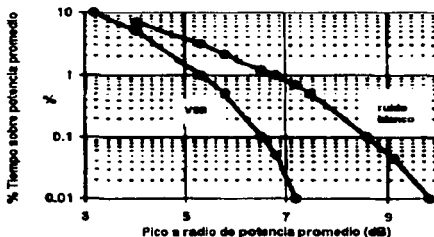


Fig. 4.2 Pico a radio de potencia promedio PAR

El típico pico a radio de potencia promedio es de casi 6.5 dB para el 99.9% de tiempo, esto es, 99.9% de las muestras de la envolvente están 6.5 dB abajo o sobre la potencia promedio.

Estudios muestran que el PAR de las señales DVB-T e ISDB-T, el 99.99% del tiempo están 2.2 dB arriba del sistema ATSC.

El alto PAR no impacta en el funcionamiento de los sistemas. Pero si incrementa la inversión inicial, costos y consumo de potencia para los radiodifusores. En algunos casos, sin embargo, el PAR puede

tener un impacto en la antena de transmisión y la línea de transmisión, dependiendo de sus respectivas capacidades de potencia pico.

4.2.2 Ruido térmico

Teóricamente, desde un punto de vista de modulación, los esquemas de modulación OFDM y su implementación, tales como VSB y QAM, pueden tener el mismo umbral de señal a ruido C/N sobre ruido blanco aditivo gaussiano AWGN (Additive White Gaussian Noise).

En la codificación de canal, esquemas de equalización, así como otros márgenes de implementación (ruido de fase, cuantización de ruido, productos de intermodulación) dan por resultado diferentes umbrales de C/N.

Los 3 sistemas DTTB usan esquemas de corrección de error concatenados. El DVB-T y el ISDB-T utilizan un código exterior de protección de errores Reed - Solomon⁵ (R-S) (204,188), código con 12 bloques (R-S) concatenados. Puede corregir 8 bytes de errores de transmisión y es consistente con los sistemas DVB-S (Satélite) y DVB-C (Cable) para comodidad y fácil inter conectividad.

El sistema ATSC implementa un código más poderoso, el R-S (207,187), el cual puede corregir 10 bytes de errores, y usa 52 bloques R-S entrelazados para mitigar impulsos e interferencias con canales adyacentes NTSC. Las diferentes implementaciones de códigos R-S generan pequeñas diferencias en C/N. Simulaciones por computadora muestran que el sistema ATSC tiene pequeñas ventajas (0.3 - 0.5dB) sobre los sistemas DVB-T e ISDB-T⁶.

El sistema ATSC implementa una modulación codificada Trellis, mientras los sistemas DVB-T e ISDB-T utilizan un codificación convolucional (El mismo que usa el estándar DVB-S por comodidad). Esto da una leve ventaja a favor del sistema ATSC, la cual es estimada entre (0.5 y 1 dB). Luego, la diferente implementación de corrección de error da un estimado C/N de ventaja entre 0.8 - 1.5 dB. Esta diferencia puede ser reducida con técnicas avanzadas o sistemas mejorados, por ejemplo, usando iterativos esquemas de decodificación en los sistemas DVB-T e ISDB-T.

Aunque no es mandato, todos los receptores ATSC en el mercado, implementan un equalizador de decisión retroalimentado DFE (por sus siglas en ingles). El DFE causa muy pequeños encadenamientos de ruido, pero también causa un error en la tasa de transmisión causado por realimentación.

Los sistemas DVB-T e ISDB-T de recepción permiten seguimiento rápido de canales multitrayectoria y rechazo a la interferencia, varias degradaciones aparecen y podemos cuantificarlas. Esas degradaciones agregan 1.5 a 2 dB.

En suma, al agregar las diferencias de C/N basadas en la tecnología actual, se estiman alrededor de 2 - 3 dB a favor del sistema ATSC sobre un canal AWGN.

Sin embargo el C/N en un canal AWG es solamente un importante indicador de funcionamiento de un sistema de transmisión, pero no puede representar un modelo de canal en el mundo real.

Debido a que la estimación en el canal, equalización y control de ganancia automático (ACG) diseñados para funcionar en un canal AWGN puede ser lento para responder a variaciones de señal y/o ecos en constante cambio.

En Europa y Japón, el modelo de canal Ricean fue usado en el proceso de espectro planeado de DTTB. Los resultados de simulación por computadora muestran diferencias de umbral de C/N entre canales Gaussianos y Ricean) cerca de 0.5 - 1 dB, dependiendo de la modulación y codificación de canal usadas.

⁵ Reed-Solomon es un código de corrección de errores.

⁶ CRC, R&D "codes de correction déreurs pour la transmission de la television numérique" universidad de Ottawa 1998.

En la tabla 4.2 se muestran los umbrales de C/N (para un canal AWGN) para los tres sistemas DTTB basada en una simulación por computadora y recientes pruebas de laboratorio⁷.

C/N (AWGN)	Umbral	Simulación	RF pruebas
ATSC (6 MHz, R=2/3)	TOV	14.8 dB	15.2 dB
DVB-T (8 MHz, R=2/3)	QEF	18.0 dB	18.6 dB
DVB-T (8 MHz, R=3/4)	QEF	18.0 dB	20.1 dB
ISDB-T (8 MHz, R=2/3)	QEF	18.7 dB	19.2 dB
ISDB-T (6 MHz, R=3/4)	QEF	20.1 dB	20.5 dB

TOV, Umbral de visibilidad (Threshold of Visibility)
QEF, Cauda libre de error (Quasi error free)

Tabla 4.2 Umbrales de C/N

Podemos notar que las mediciones de C/N dependen de las condiciones de medición, por ejemplo, cambiando la frecuencia del canal RF y niveles de señal varían (en pocos dB) los umbrales de C/N.

Desde un punto de vista de los valores presentados en la tabla anterior, podemos notar que no es una comparación imparcial, debido a que los sistemas tienen diferentes velocidades de datos, y sus umbrales están definidos en forma diferente (TOV vs QEF). Para los sistemas DVB-T e ISDB-T se seleccionan diferentes intervalos de guarda, mientras mantienen la misma codificación de canal, dando por resultado diferencias en los datos procesados, a pesar del mismo umbral C/N.

Una alternativa es usar el E_b / N_0 , ó radio portadora a ruido por unidad de capacidad de datos (bit) y unidad de ancho de banda (Hz), para evaluar el funcionamiento del sistema, tomando en cuenta la velocidad del sistema y el ancho de banda. E_b / N_0 está presente en sistemas de transmisión digital en las mediciones de eficiencia de espectro⁸ y potencia, las cuales son ampliamente usadas en la literatura de comunicaciones digitales. Menores valores de E_b / N_0 hacen más eficiente el sistema de transmisión y este valor se define como:

$$E_b / N_0 \text{ [dB]} = C/N - 10 \log (R_b / BW)$$

Donde R_b es la velocidad de datos del sistema y BW es el ancho de banda del sistema. Para el sistema ATSC de 6 Mhz, la velocidad de datos $R_b = 19.4$ Mbit/s. Los sistemas comparables DVB-T e ISDB-T (8MHz, con código R = 2/3 e intervalo de guarda 1/32) tienen velocidades de datos de $R_b = 17.9$ Mbit/s y 17.7 Mbit/s, respectivamente. Esto es, para los sistemas DVB-T e ISDB-T usando la misma codificación para diferente longitud de intervalo de guarda, el C/N podría ser el mismo, mientras E_b / N_0 será diferente, debido a las diferentes velocidades de datos.

En los sistemas DVB-T e ISDB-T se define un umbral de tasa de error de bit BER (Bit Error Rate) de 2×10^{-4} antes de la decodificación R-S. Después de la decodificación R-S, corresponde a un BER de menos de 1×10^{-11} , o recepción casi libre de error QEF (Quasi Error Free), la cual es equivalente a un error en horas. Este umbral es típico del funcionamiento para transmisiones de datos e alta velocidad.

El umbral de ATSC actualmente deriva subjetivamente de la video película "Threshold Of Visibility" (TOV), asumiendo que el error de video es ocultado con técnicas implementadas en el receptor. La correspondiente medición objetiva es definida como BER = 3×10^{-9} , tasa de error de segmento (SER) = 2×10^{-4} , después de la decodificación R-S.

Un factor de corrección puede ser agregado para una comparación razonable.

⁷ ATCC, Digital HDTV "System Record of Test Results" Advance Television Centre 1995.

⁸ Eficiencia de espectro $\eta = R/B$ [Mbps/Hz] donde R es la velocidad de transmisión y B es el ancho de banda

Para un canal AWGN, el factor de corrección del sistema ATSC, entre TOV y QEF puede ser de 0.8 dB. Para el DVB-T el factor de corrección es de 1.3 dB⁹.

Basados en los comentarios anteriores, los factores en la velocidad de datos y los diferentes umbrales, el cálculo de umbrales E_b/N_0 de los sistemas para canales AWGN se presenta en la tabla 4.3.

Parámetros y sistemas	E_b/N_0 (AWGN)		
	Umbral	Simulación	Pruebas de RF
ATSC 6/7/8 MHz R=2/3 $R_b=19.4/23.7/27.5$ Mbit/s	TOV	9.7 dB	10.1 dB
	QEF	10.5 dB	10.9 dB
DVB-T 6/7/8 MHz R=2/3 GI=1/32 $R_b=17.9/21.1/24.1$ Mbit/s	TOV	10.4 dB	12.5 dB
	QEF	11.7 dB	13.8 dB
DVB-T 6/7/8 MHz R=3/4 GI=1/32 $R_b=20.4/23.7/27.1$ Mbit/s	TOV	11.4 dB	13.5 dB
	QEF	12.7 dB	14.8 dB
ISDB-T 6/7/8 MHz R=2/3 GI=1/32 $R_b=17.7/20.7/23.6$ Mbit/s	TOV	12.7 dB	13.2 dB
	QEF	14.0 dB	14.5 dB
ISDB-T 6/7/8 MHz R=3/4 GI=1/32 $R_b=19.9/23.2/26.6$ Mbit/s	TOV	13.6 dB	14.0 dB
	QEF	14.9 dB	15.3 dB

Tabla 4.3 Umbrales de E_b/N_0

Dos velocidades de código convolucional, $R = 2/3$ y $3/4$ son seleccionadas para sistemas DVBT e ISDB-T, el último provee velocidades de datos comparables con el sistema ATSC.

Podemos mencionar que es posible mejorar la respuesta de todos los sistemas. Los valores presentados en la tabla anterior son generalmente válidos para sistemas de 6,7 y 8MHz sin cambiar el esquema de codificación de canal.

4.2.3 Propagación multitrayectoria

El sistema de modulación COFDM usado por DVB-T e ISDB-T tiene una fuerte inmunidad contra la propagación multitrayectoria. Puede eliminar ecos de hasta 0 dB relativos a la señal de mayor potencia recibida. Los altos niveles de eco se encuentran usualmente en áreas urbanas, donde la línea directa de vista al transmisor es bloqueada y cuando antenas internas o aéreas son usadas.

La implementación de un intervalo de guarda puede eliminar totalmente la interferencia intersimbólica¹⁰, excepto para ecos con retrasos excesivamente largos, mayores al intervalo de guarda.

Sin embargo, el desvanecimiento dentro de banda, tendrá un impacto en los requerimientos de C/N, especialmente cuando un alto orden de modulaciones son usadas en las portadoras COFDM. Un robusto código de corrección de errores y una buena estimación de canal, son requeridos para los sistemas DVB-T e ISDB-T para retener ecos de hasta 0 dB, y un alto C/N será necesario para tratar con tales ecos. El balance de esos requerimientos dependerá de la velocidad de código seleccionada. Una flexible decodificación usando una técnica de borrado puede mejorar significativamente el funcionamiento¹¹.

⁹ Results of initial performance test with the LSI logic L64780 COFDM demodulator chip" BBC & R&D

¹⁰ Cuando hay un desplazamiento en el tiempo de la señal recibida pueden ser mal interpretados los bits de información. A este fenómeno se lo conoce como interferencia intersimbólica.

¹¹ J. H. Thong, "Digital TV field trial in Singapore" 1998

Para ecos estáticos con niveles menores de -4 a -6 dB, el sistema 8-VSB, utiliza un equalizador de decisión retroalimentado DFE (Decisión Feedback Equalizer) manteniendo un bajo encadenamiento de ruido.

Muchos ecos producidos por estructuras cercanas afectarán predominantemente a los sistemas de banda estrecha, tales como los segmentos usados en el sistema ISDB-T, estos ecos pueden causar fallas de recepción en algunos segmentos del sistema. Los sistemas de banda ancha, tales como el ATSC y el DVB-T serán más inmunes a este tipo de deterioro de canal.

El intervalo de guarda de los sistemas DVB-T e ISDB-T puede usarse para tratar distorsiones multitrayectoria (adelantarlas o retrasarlas). Esto es importante para la operación de redes de frecuencia única SFN (Single Frequency Network). El sistema ATSC no puede manejar largos procesos, ya que fue diseñado para un ambiente de redes de frecuencia múltiple MFN (Multi-Frequency Network) en donde usualmente no hay condiciones de recepción externa fija.

Las redes SFN pueden proveer ahorros significativos en la potencia total de transmisión, porque incrementan la probabilidad de recibir la señal para un número de transmisores, éste es llamado "ganancia de red".

4.2.4 Interferencia con un canal adyacente de TV analógica

La energía concentrada alrededor de la portadora visual, en menor grado para las subportadoras de color y audio, interferirá con un limitado número de portadoras de CODFM en porciones específicas de la banda DTTB. Una buena estimación del sistema del canal, combinada con una decodificación de decisión, usando una técnica de borrado, proporcionará un buen funcionamiento contra la interferencia con la TV analógica.

El sistema ATSC usa diferentes enfoques. Un cuidadoso diseño de filtros combinados o filtros de paso, son implementados para pasar fuera del campo de la portadora visual y de las subportadoras de audio y color de los sistemas de TV analógica, mejorando el funcionamiento de dichos sistemas. Actualmente, el sistema OFDM puede también implementar un filtro de paso para mejorar el funcionamiento contra la interferencia con canales de TV analógica contiguos.

El enfoque del sistema ATSC es relativamente simple de adoptar en el caso donde hay solamente un sistema de TV analógica a considerar. En Europa y en algunas otras partes del mundo, es necesario considerar la interferencia de más de un sistema de televisión analógica y, en tales casos, un conjunto fijo de filtros de paso puede ser menos apropiado. Una considerable atención fue puesta en este aspecto durante el diseño y desarrollo del sistema DVB-T.

4.2.5 Interferencia con un canal adyacente de televisión digital DTV

Un buen canal DTV adyacente tendrá menor interferencia respecto a los servicios de TV analógica. Ésto también significará una mejor eficiencia de espectro una vez que los servicios de TV analógica estén fuera. Las tres señales DTV se comportan semejantes con el ruido gaussiano aditivo. Entonces, la interferencia con un canal contiguo DTV puede ser altamente correlacionada con el C/N, el cual es altamente dependiente de la codificación de canal y sistema de modulación usados.

4.2.6 Ruido de impulso

La interferencia por ruido de impulso usualmente ocurre en la banda VHF y parte baja de la banda UHF, y es causada por equipo industrial y aplicaciones caseras, tales como hornos de microondas, luces fluorescentes, secadoras de cabello, etc. Las líneas de transmisión de alto voltaje que generan arco de corona, también son una fuente de ruido de impulso.

Teóricamente, la modulación OFDM es más robusta a la interferencia de impulso en el dominio del tiempo, debido a que el proceso FFT en el receptor puede promediar una corta duración de los impulsos. Entonces, un sistema OFDM con un tamaño grande (Ej. 8k FFT) funcionará mejor contra impulsos, que un sistema FFT con menor tamaño (Ej. 2k FFT). Sin embargo, la modificación de canal¹² e implementaciones de entrelazado pueden jugar un rol importante. El robusto código R-S (207,187,10) con 52 segmentos entrelazados hace al sistema ATSC más robusto.

4.2.7 Interferencia de onda continua CW (Continuous Wave)

Dado que un sistema COFDM está basado en una técnica en el dominio de la frecuencia, la cual implementa un gran número de portadoras estrechamente espaciadas, un sencillo CW ó interferencia en banda estrecha destruirá solamente unas pocas de esas portadoras, pero la pérdida de datos puede ser fácilmente recuperada con un código de protección de errores.

El ecualizador adaptativo puede reducir el impacto de la interferencia CW en el sistema ATSC, pero, en general, los sistemas DVB-T e ISDB-T responden mejor a la interferencia CW por un intervalo ($> 10dB$).

4.2.8 Ruido de fase

Para un sistema de modulación de portadora sencilla, tal como 8-VSB, El ruido de fase generalmente causa rotación y parpadeo, el cual comúnmente se rastrea con una mallita de encadenamiento de fase (PLL).

Teóricamente, la modulación OFDM es más sensible para sintonizar el ruido de fase. El ruido de fase puede ser modelado en dos componentes:

- Una componente de rotación común, la cual causa una rotación de fase de todas las portadoras OFDM.
- Una componente de dispersión o componente de interferencia interportadora.

La primera componente puede ser rastreada usando bandas internas piloto como referencias. Sin embargo, la segunda componente difícilmente puede compensarse, y degrada ligeramente los umbrales de ruido de los sistemas DVB-T e ISDB-T.

4.3 Estándares de transmisión de televisión digital ATSC y DVB

La principal característica que comparten ambos sistemas es el uso del esquema de compresión de video MPEG-2. En cuanto a sus semejanzas, tanto el estándar americano como el europeo cuentan con una codificación de canal similar, es decir, el conjunto de bloques que se utiliza para corregir errores provocados por la transmisión de información a través del canal. Sin embargo, difieren en lo que respecta a la compresión de la señal de audio: DVB emplea el método "Musicam", desarrollado por Phillips, mientras que ATSC utiliza el llamado "Dolby AC-3". No es esta la principal característica en la que difieren ambos estándares; el distintivo que ha provocado una amplia brecha entre dichas propuestas y, más aún, que ha sido motivo de controversia y discusión, es el método de modulación que utilizan. Por un lado, el ATSC desarrolló la modulación 8-VSB (Banda lateral residual de 8 niveles), mientras que DVB optó por la modulación COFDM (Multicanañización por División en Frecuencia, Ortogonal Codificada). Las características más relevantes de los estándares americano y europeo se muestran en las Tablas 4.4 y 4.5.

¹² La codificación de canal consiste en corregir error causados por ruido en el canal y se lleva acabo mediante códigos de protección de error.

Características	Estándar	Observaciones
Ancho de banda por canal	8 MHz	Igual al estándar de la televisión analógica NTSC
Tipo de modulación	8-VSB o 16-VSB	8-VSB: Terrenal 16-VSB: Cable y Satélite
Estándar de compresión	MPEG-2 (Video) Dolby AC-3 o MPEG ACC (Audio)	
Relación de aspecto	4:3 (SDTV) 16:9 (HDTV)	SDTV: Televisión de definición estándar. HDTV: Televisión de alta definición
Máxima resolución	Vertical: 1080 Líneas Horizontal: 1920 Píxeles	El estándar permite otras resoluciones menores para SDTV y computadoras.

Tabla 4.4. Estándares ATSC

Características	Estándar	Observaciones
Ancho de banda por canal	8 MHz	Igual al estándar de la televisión analógica PAL
Tipo de modulación	COFDM (con mapeo QPSK o QAM)	Modo 2K (1705 subportadora de datos y auxiliares) Modo 8k (6817 subportadora de datos auxiliares)
Estándar de compresión	MPEG-2 (Video) MUSICAM (Audio)	
Relación de aspecto	4:3 (SDTV) 16:9 (HDTV)	SDTV: Televisión de definición estándar. HDTV: Televisión de alta definición
Máxima resolución	Vertical: 1152 Líneas Horizontal: 1920 Píxeles	El estándar permite otras resoluciones menores para SDTV y computadoras

Tabla 4.5 Estándares DVB

Un sistema de transmisión de TV digital básicamente se compone de los siguientes bloques de representados en la Fig. 4.3.

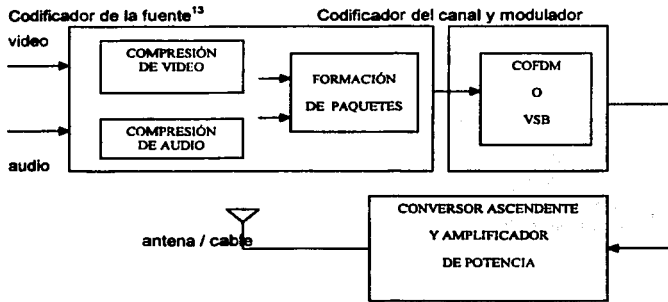


Fig. 4.3 Sistema básico de transmisión para DTV

4.3.1 Sistema de transmisión DVB

La modulación COFDM que utiliza el estándar DVB es un método particularmente apropiado para los canales de transmisión terrestre. COFDM combate en buena medida los problemas relacionados con altos niveles de propagación multitrayectoria ("fantasmas"), presentes en toda transmisión en el aire, y es también resistente a la interferencia intersimbólica, gracias al empleo de intervalos de guarda entre los símbolos que se transmiten.

En términos generales, COFDM modula la información a baja velocidad en cientos o miles de subportadoras multicanalizadas en frecuencia, las cuales se representan en la Fig.4.4. Cada una de estas subportadoras corresponde a una combinación lineal del conjunto de símbolos que se transmiten en un momento dado, tomados a partir de uno ó más modelos de modulación (ya sea QPSK o QAM). Debido al efecto de propagación multitrayectoria¹⁴, la información contenida en las múltiples subportadoras que se transmiten pudiera verse afectada por la misma información, llegando un tiempo antes o después al receptor. Sin embargo, gracias a estos cientos o miles de subportadoras, únicamente algunas de ellas se verán seriamente afectadas y, en consecuencia, es posible recuperar la información original.

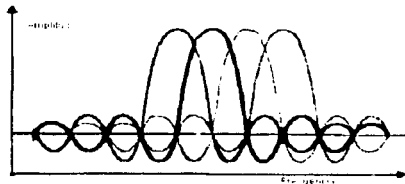


Fig 4.4 Modulación COFDM

¹³ La codificación de fuente tiene el propósito de extraer información esencial de la fuente y codificarla en forma digital.

¹⁴ Entre la entrada y la salida del canal, la señal puede sufrir diferentes retrasos y atenuación.

El modelo de transmisión cuenta con distintos bloques de codificación y entrelazado de información que permiten incrementar aún más el nivel de confiabilidad de la transmisión. Con base en lo anterior, el problema de la propagación multirayectoria puede ser satisfactoriamente solventado mediante el uso de COFDM. La interferencia intersimbólica representa la segunda dificultad a la que se enfrenta la transmisión y a la que el modelo de transmisión COFDM hace frente mediante la inserción de intervalos de guarda bien definidos. Los principales bloques del modelo COFDM de transmisión se ilustran en la Fig 4.5.

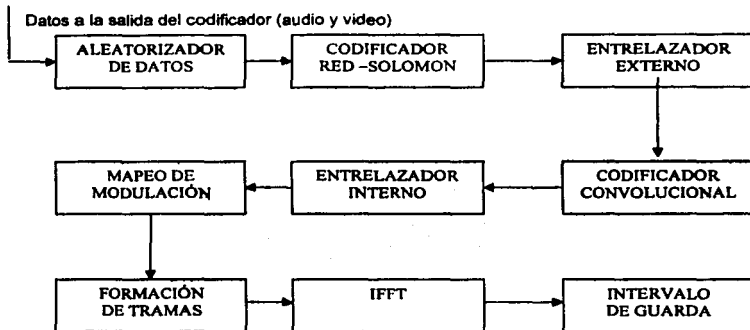


Fig.4.5 Transmisión COFDM

Similar a lo que sucede en el esquema 8-VSB, la información de video, contenida en los paquetes MPEG-2, es multicanalizada con la información de audio codificada en formato Musicam. Son estos paquetes ya multicanalizados los que ingresan al aleatorizador de datos, primera etapa del modelo COFDM. El aleatorizador de datos permite distribuir, en forma homogénea, la energía de la señal que se transmitirá en el ancho de banda del canal de transmisión. Esto se logra generando una secuencia pseudo aleatoria de datos y su objetivo es hacer un uso más eficiente de la energía de la señal.

La información a la salida del bloque aleatorizador de datos ingresa a un bloque de codificación Reed-Solomon que añade 16 bytes de redundancia a los paquetes MPEG-2 de 188 Bytes de información. Se dice que el codificador entrega, por cada 188 bytes de la entrada, 204 bytes de salida; es decir, (204,188). La codificación Reed-Solomon consiste en un método de corrección directa de errores (FEC por sus siglas en inglés) "sin memoria", por lo que su salida no se ve afectada por los símbolos anteriores que entran y salen del codificador. A los métodos de codificación como éste se les conoce como codificadores de bloque y particularmente hablando, los códigos Reed-Solomon (204,188) permiten la corrección de hasta 8 bytes de información errónea. La estructura de transmisión se observa en la Fig.4.6.

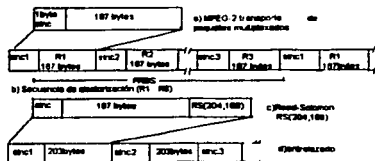


Fig 4.6 Estructura de transmisión

El bloque que sigue a continuación es el de entrelazado externo de datos, que combina los bytes codificados utilizando 12 niveles de entrelazado. El efecto de este proceso puede entenderse como una dispersión de los bytes de diferentes paquetes MPEG-2, los cuales son combinados para dar origen a nuevos paquetes del mismo tamaño que los originales, pero combinados y repartidos de acuerdo al patrón de 12 niveles. El entrelazado permite incrementar la confiabilidad del sistema, pues en caso de perderse un paquete, únicamente una pequeña porción de la información correspondiente a cada paquete se extravía, misma que puede recuperarse gracias a la codificación. Este tipo de codificación protege a la información de un tipo de ruido conocido como "impulsivo".

La salida del entrelazador externo ingresa a un codificador convolucional que, a diferencia del codificador Reed-Solomon, es un codificador "con memoria". Dicha codificación se lleva a cabo a nivel de bits, entregando 2 bits de salida por cada bit de entrada. Después de este segundo bloque de codificación, existe un entrelazador interno que "reparte" la información, primero a nivel de bits y, posteriormente, a nivel de símbolos. Al igual que el entrelazado externo, el entrelazado a nivel de bits permite que los grupos de bits que dan lugar a un símbolo no estén formados por bits consecutivos de la entrada. Cabe señalar en este momento que el número de niveles del entrelazador de bits dependerá del tipo de mapeo de modulación que se utilice: 2 niveles para modulación por corrimiento de fase QPSK (quadrature phase-shift keying) 4 para 16-QAM y 6 para 64-QAM. El entrelazador de símbolos toma los símbolos a la salida del entrelazador de bits y los "reacomoda", separando símbolos consecutivos.

A continuación se lleva a cabo el mapeo de modulación correspondiente, el cual tiene como objetivo representar a cada uno de los símbolos a la salida del entrelazador interno como un punto en un plano bidimensional (a la disposición específica de los puntos en el plano se le conoce como la "constelación" del mapeo de modulación empleado) como el de la Fig.4.7. Cada uno de estos puntos estará determinado por un par de coordenadas, la primera de ellas asociada a un número real y la segunda, a un número imaginario. De esta forma, se tienen símbolos representados por dos valores que determinan su "posición" en el plano utilizado para el mapeo.

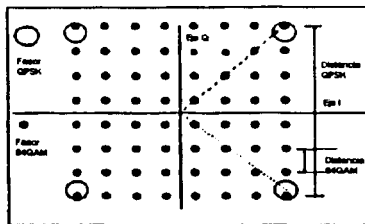


Fig. 4.7 Modulación QAM y QPSK

Capítulo 4 Transmisión

Los datos con los que se cuenta en este instante ingresan al bloque de formación de tramas, cuyo objetivo es añadir información adicional de sincronización e información del sistema. Se considera como información relevante del sistema al tipo de mapeo de modulación empleado, al modo utilizado (2k u 8k) y al valor del intervalo de guarda, entre otras cosas. El bloque de formación de tramas genera 17 nuevas subportadoras en el modo 2k, empleadas para enviar la información del sistema, mientras que en modo 8k se utiliza un equivalente de 68 nuevas subportadoras. Existen, además, 45 subportadoras fijas y 131 subportadoras "esparcidas" que corresponden al modo 2k, y 177 subportadoras fijas y 524 "esparcidas", correspondientes al modo 8k. El número de subportadoras que se decida utilizar depende, en buena parte, de las características de transmisión del canal y estará sujeto a 1705 subportadoras para el modo 2k y a 6817 de ellas en el modo 8k. De este número de subportadoras, 1512 en el modo 2k y 6048 en el modo 8k corresponden a la información útil, sin considerar subportadoras fijas, "esparcidas" o de información del sistema.

El siguiente bloque, que toma la información y lleva a cabo su transformación rápida de Fourier inversa (IFFT, por sus siglas en inglés), es quizás el más complejo del modelo COFDM.

Un conjunto de pares de coordenadas, que representan símbolos mapeados anteriormente de acuerdo a la constelación utilizada, ingresa al bloque IFFT, en donde son agrupados en grupos de 2048 ú 8192, según el modo empleado (por motivos de eficiencia de algoritmo de la IFFT, se rellenan subportadoras con ceros para llegar a 2048 ú 8192 de ellas, según el modo utilizado, lo cual, al ser observado en frecuencia, no afecta el ancho de banda final de la señal modulada). Cada par de este conjunto de datos es utilizado para generar el n -ésimo dato de la secuencia de salida de la IFFT. Como consecuencia, el efecto de la IFFT consiste en producir " n " símbolos a la secuencia de la IFFT, donde n corresponde al número de subportadoras del modo del sistema (2k u 8k). Si esta secuencia se pasa por un convertidor digital-analógico y un filtro pasa bajas, se obtiene una versión aproximada de la señal multicanalizada por división en frecuencia, que contiene la combinación lineal de " n " subportadoras, cada una modulada a baja velocidad según el mapeo de modulación utilizado. Al observar el espectro de frecuencia de esta señal, notaríamos que están presentes las n subportadoras de las que hablábamos y que, precisamente, dan cabida a la modulación COFDM. La secuencia de salida de la IFFT es una señal ortogonal, razón por la que esta característica aparece en el nombre que define al tipo de modulación en cuestión. La obtención del n -ésimo dato de la secuencia de salida de la IFFT, a partir de un conjunto de n pares de datos de entrada, permite que la información contenida en cada uno de los n datos a la salida del bloque contenga información relacionada con todos los datos del conjunto que ingresa a él, por lo que la pérdida de uno de estos datos es poco significativa, toda vez que su efecto se "diluye" en el resto de los datos.

La interferencia entre símbolos generada por el canal es motivo de preocupación de COFDM. Para evitarla se utiliza un intervalo de guarda que es añadido en el siguiente bloque. En la modulación COFDM por lo general se utilizan cuatro valores distintos para el intervalo de guarda: $1/4$, $1/8$, $1/16$ ó $1/32$ de la duración de la parte útil del período de un símbolo de cada uno de los modos posibles. La selección de la longitud del intervalo de guarda dependerá de las características del canal de transmisión que se utilice. Debe notarse también que la introducción de intervalos de guarda reduce la tasa de transmisión efectiva que podrá utilizarse.

4.3.2 ATSC 8_VSB

El sistema de transmisión 8-VSB, desarrollado por los Estados Unidos, probado por la ATSC y aceptado por la FCC, fue diseñado específicamente para la transmisión de señales de televisión terrenal digital. El transmisor 8-VSB es capaz de transmitir información digital de manera eficiente a una tasa 19.28 Mbit/s sobre un canal de 6 MHz de ancho de banda. La modulación 8-VSB se refiere básicamente a un tipo de modulación 8-ASK, de banda residual. La modulación ASK (Comutación por Corrimiento en Amplitud, por sus siglas en inglés) es aquella que emplea variaciones en la amplitud de la señal portadora. Puesto que se trata de una modulación 8-ASK, se utilizan 8 niveles de amplitud, cuyos posibles valores son (± 1) , (± 3) , (± 5) y (± 7) . La idea de banda lateral residual se obtiene mediante la supresión parcial de una de las bandas laterales de la señal. Dicha supresión se basa en el hecho de que el ancho de banda de la señal original es demasiado grande y es necesario recortarlo al ancho de banda de 6 MHz utilizado por el canal de televisión como vemos en la Fig. 4.8.

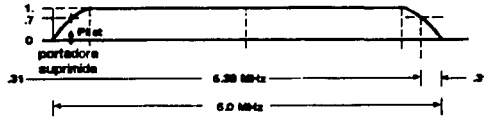


Fig.4.8 Ancho de banda del canal VSB

El diagrama de bloques de un transmisor 8_VSB se ilustra en la Fig. 4.9.

Como hemos comentado, la codificación del canal en ambos estándares es muy similar. Sin embargo, la información que ingresa al transmisor 8_VSB se encuentra reunida en paquetes de video MPEG-2, multicanalizados con paquetes de audio Dolby AC-3. Dichos paquetes cuentan con una longitud de 188 bytes que se transmiten a una tasa de 19.39 Mbit/s. El primer byte de los paquetes MPEG-2 corresponde al byte de sincronía, utilizado para sintonizar los circuitos internos del transmisor 8_VSB. Este byte será posteriormente reemplazado por el segmento de sincronía ATSC. El primer reto que se presenta consiste en "colocar" la señal MPEG-2 dentro del canal de 6MHz, por lo que se requieren ciertas técnicas que, precisamente, corresponden a los bloques de decodificación del canal.

Al ingresar al transmisor, los datos de entrada son aleatorizados y procesados mediante una codificación Reed-Solomon que agrega 20 bytes de paridad a cada paquete de datos, es decir, se trata de una codificación (207,187) (el byte de sincronía ha sido eliminado). La información que sale del codificador entra a un entrelazador convolucional de 52 segmentos que "combina" los datos en nuevos paquetes de 187 bytes. Una vez echo ésto, los datos ingresan a un codificador Trellis (codificador convolucional) que entrega 3 bits de salida por cada dos bits de entrada. Es importante señalar que en el caso de la modulación 16-VSB, utilizada en la transmisión por cable y satelital, no se cuenta con un codificador Trellis y, en lugar de éste, se tiene un bloque de mapeo 16-VSB que entrega dos símbolos (de 16 posibles) por cada byte de entrada. Tanto el bloque de codificación Trellis, utilizado en la modulación 8-VSB, como el bloque de mapeo 16-VSB, entregan alguno de los 8 o 16 posibles niveles de amplitud, dependiendo de si se trata de modulación 8-VSB o 16-VSB, respectivamente. Hasta este punto observamos que existe cierta similitud con la codificación del canal del modelo COFDM.

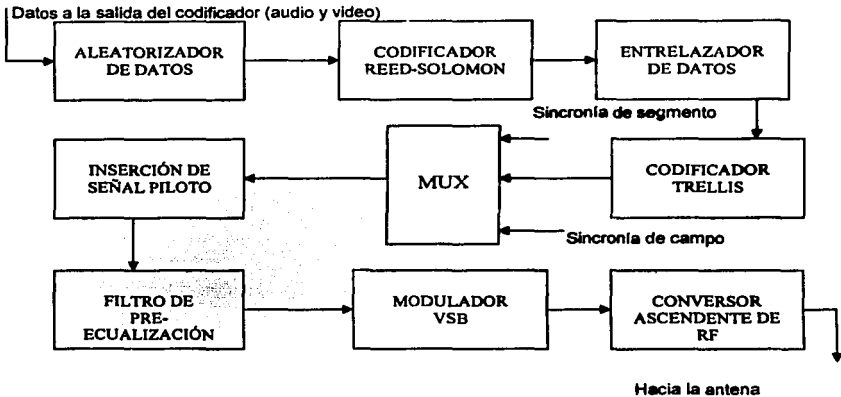


Fig. 4.9 Transmisión 8-VSB

El siguiente paso es la integración de las señales piloto y de sincronía a la señal codificada. Las señales de sincronía permiten "amarrar" los circuitos del receptor a la señal que les llega, para iniciar el proceso de decodificación, incluso en presencia de los altos niveles de ruido o "fantasma" en la imagen. En este momento, cada segmento de información de 207 bytes se encuentra definido mediante 828 símbolos de 8 niveles. La sincronía de segmento que se añadirá al principio de cada segmento, reemplazando el byte de sincronía del paquete MPEG-2, tiene una duración de cuatro símbolos y toma la forma de un pulso positivo-negativo-positivo entre los niveles +5 y -5 (como se observa en la Fig.5.10). Dicho pulso se repetirá cada 832 símbolos.

Aunque, el formato ATSC difiere enormemente del utilizado por la NTSC para televisión analógica convencional, la sincronía de segmento pudiera verse como un pulso similar al de sincronía horizontal, utilizado en el estándar analógico americano. De la misma forma, la sincronía de campo estaría en cierta forma relacionada con el pulso de sincronía vertical NTSC. Cada segmento de datos durará un tiempo de 77.3 μ s, mientras que la sincronía de segmento contará con una duración de 0.37 μ s.

En el estándar ATSC, trescientos trece segmentos consecutivos de datos forman un campo, como se muestra en la Fig.4.10.

Cada campo cuenta con una duración de 24.2 ms e incluye un segmento completo de datos, utilizado para enviar la sincronía de campo que se requiere. Este segmento estará formado por un patrón de símbolos conocido que utiliza el receptor para eliminar el posible "fantasma" de la imagen, causado por mala recepción. Para hacer esto, el receptor compara la información contenida en el segmento de sincronía de campo con el patrón que de antemano conoce y, de acuerdo a las diferencias encontradas, ajusta los niveles del circuito equalizador de cancelación de "fantasma" del receptor.

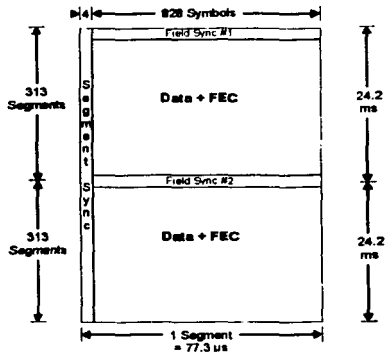


Fig.4.10 Trama de datos VSB

Antes de modular se añade una señal de cd de 1.25 volts a los valores de los datos de las tramas a la salida del multicanalizador. Esto propicia la aparición de la señal piloto en la frecuencia portadora de la señal VSB que permite a los circuitos de amarre de fase (PLLs, por sus siglas en inglés) del receptor obtener una señal que los sincronice. Dependiendo de las características de transmisión del canal puede existir, entre el bloque de inserción de la señal piloto y el bloque de modulación VSB, un filtro de preecualización que permita compensar las pérdidas o atenuaciones que determinadas bandas del canal experimenten.

Posteriormente, la señal digital compuesta es modulada en banda lateral residual sobre una portadora de frecuencia intermedia, resultando así en una modulación en amplitud con una de las bandas laterales suprimida. Haciendo ésto se logra que la señal a transmitir pueda "caber" dentro del canal de 6 MHz destinado para su transmisión. Finalmente, se tiene un conversor ascendente de radiofrecuencia que permite desplazar la señal de frecuencia intermedia a la portadora definitiva sobre la cual se transmitirá la información.

4.4 ATSC sistemas de transmisión DTV por cable y satélite

Durante la última década, la aplicación de tecnología digital de audio y video en radiodifusión se ha desarrollado en un área considerable y ha penetrado en los procesos de producción en estudios, contribución y distribución de programas en redes de transmisión. Sin embargo, el completo beneficio de estos progresos se dará cuando este completado el cambio desde el estudio hasta los hogares de tecnología digital

Las siguientes son algunas de las alternativas de medios capaces de soportar servicios de video digital a los hogares:

- Terrestre, Satélite, cable TV. (Radiodifusión)
- Fibra óptica y par trenzado en redes de telecomunicaciones (Telecomunicaciones).
- Información tecnológica / Multimedia (Cómputo)

En este capítulo abordaremos únicamente los estándares de radiodifusión, ya que son los que pueden tener una distribución masiva en sistemas de TV digital.

4.4.1 Señales de radiodifusión DTV vía sistemas de cable (ATSC)

4.4.1.1 Conversión de frecuencia de canal

Un método para transportar una señal DTV terrestre en un sistema de cable, es mediante codificación Trellis 8VSB (8T-VSB) en un canal de 6MHz. Si un canal de cable diferente es seleccionado para transmisión, entonces un convertidor de canal tendrá que ser empleado y esto puede originar algunas degradaciones en la señal debidas a los filtros que pueden ser empleados. Un método alternativo podría ser demodular completamente la señal terrestre VSB recibida, obteniendo el correcto transporte de los paquetes de datos, y usar estos paquetes para modular una portadora en RF, con 8T-VSB ó 16 VSB. Esto permite a la señal original ser transmitida en un sistema de cable y también el procesamiento de datos en protocolos de programa y sistemas de información PSIP (Program and System Information Protocol) si se desea.

4.4.1.2 Trans-modulación

En el presente, no hay acuerdo en un método de transporte para señales DTV terrestres en los medios de cable. La industria del cable en los E.U.A ha seleccionado el método de modulación QAM como el preferido, mientras los radiodifusores de señal terrestre usan VSB. Una solución es demodular la señal VSB, derivar el flujo de transporte de datos MPEG-2, y entonces cambiar la modulación a portadora QAM con el proceso PSIP apropiado y MPEG-2 al final.

La señal es recuperada (con un set-top-box) en donde se localiza el lugar de recepción de cable. Normalmente, solo definimos la entrada en un receptor terrestre de DTV con una terminal de antena RF.

4.4.1.3 Redes de interfase digital en hogares

La industria del cable y la industria de receptores de televisión están desarrollando estándares para interconectar productos electrónicos para los consumidores, los cuales incluyen el receptor de DTV, un set-top-box (STB), un VCR, juegos DVD y aparatos similares. Esta actividad está todavía en proceso. Para la industria de los E.U.A la situación es la siguiente:

- Estándar IEEE 1394: La interfase IEEE 1394, maneja dos caminos de alta velocidad (196.608 Mbit/s ó más). Esta interfase transporta datos en MPEG-2 y señales, pero requiere un equipo especial de DTV en el receptor compatible con dicha interfase. En la actualidad, no hay acuerdo en la industria de recepción para proveer esta interfase.
- Remodulación estándar (EIA761). El remodulador estándar usa una conexión de antena receptora DTV, muy semejante a su contraparte analógica en un sistema NTSC VCR, y típicamente utiliza los canales de TV 3 ó 4. El remodulador requiere una entrada para sistema de transporte MPEG-2 que pueda ser provista por un VCR, STB, juegos DVD y otros aparatos, y tiene una señal de salida en RF, y ésta no requiere conexión de entrada especial en el receptor de DTV (ver Fig 4.11). Este estándar también provee un display sobre pantalla OSD (on-screen-display) para información adicional sobrepuesta sobre la imagen principal. En un extremo, estos datos extra pueden ser un sistema adicional MPEG-2 correspondiente a una señal DTV adicional en el modo 16 VSB (modo para alta velocidad de datos por cable).

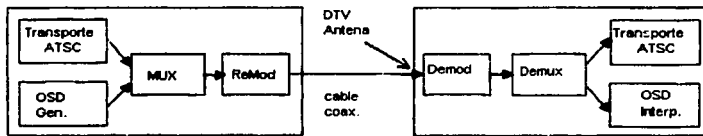


Fig.4.11 Diagrama de bloques del sistema remodulador

4.4.1.4 Modo VSB por cable

Velocidad de transporte y umbrales. El modo de cable 16 VSB tiene una velocidad de transmisión de 38.78 Mbit/s, en comparación con el modo 8 VSB (Estándar para radiodifusión terrestre) de 19.39 Mbit/s tiene un incremento de velocidad de 2 a 1. Al doblar la velocidad de datos, es necesario, un alto umbral para ruido blanco y un balance aceptable en un ambiente tal como el cable. Mientras el umbral para 8T-VSB esta en 15dB de señal a ruido, el correspondiente umbral para 16-VSB es de 28.5 dB de señal a ruido. Debido a que los niveles de ruido en sistemas de cable son más bajos que en radiodifusión terrestre DTV, resulta un balance benéfico.

Dos flujos de DTV pueden ser portados en un canal de 6 MHz, tales como dos programas de alta definición HDTV. Los circuitos integrados DTV pueden decodificar 16 VSB tan bien como 8T-VSB.

Procesamiento de señal VSB. Las partes de procesamiento de señal de un sistema 16 VSB son idénticas al 8T-VSB excepto por la sustitución por un mapa de 16 niveles para la codificación 8T-VSB.

El número de niveles transmitidos es 16 para 16-VSB y 8 para 8T-VSB. Los procesos de aleatorizar datos, codificación Reed-Solomon, entrelazado de datos, sincronización de segmentos de datos, sincronización de campos de datos, inserción de señal piloto, y modulación VSB son idénticos para los dos sistemas como se observa en la Fig. 4.9 y la Fig.4.12

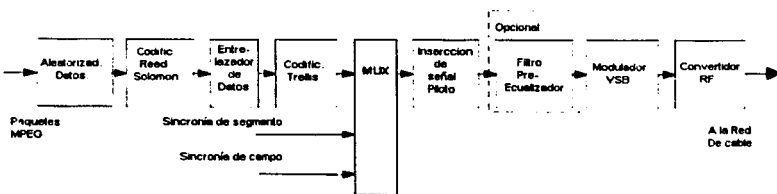


Fig. 4.12 Diagrama de bloque del sistema de transmisión por cable 16-VSB

Enmascaramiento de emisión. Dado que los niveles de señal en cable, no requieren amplificadores de alta potencia para su transmisión, la distorsión dentro de los canales adyacentes es menor que en DTV terrestre. Entonces el enmascaramiento de emisión no es frecuentemente requerido para transmisores por cable. En vez de eso, La FCC (Federal Communications Comision) en su parte 76-605 requiere una inter-modulación de distorsión para todos los canales de -51 dB y un radio de portadora visual a ruido de

43 dB efectivos para controlar los niveles de interferencia dentro de una señal DTV ocupando cualquier canal de 6MHz (Las mediciones en un sistema de cable de 6MHz son de -49.2 dB y 41.2 dB SNR, respectivamente).

4.4.2 Señales de radiodifusión ATSC DTV sobre satélite

4.4.2.1 Requerimientos para aplicaciones de DTV en satélite

Describiremos a continuación un estándar adoptado por la ATSC de modulación y codificación de datos y aplicaciones de DTV sobre sistemas de satélite.

La modulación y codificación de datos para la transmisión y recepción de éstos, es el punto principal de este estándar, el cual, vincula la transformación de datos usando técnicas de corrección de error, mapeo de señal, y modulación para producir una portadora digital adecuada para la transmisión por satélite. La información puede ser una colección de materiales de programa incluyendo video, audio, datos, multimedia y otros materiales generados en un formato digital.

En particular, las principales distinciones entre los esquemas de modulación QPSK, 8PSK y 16 QAM son el ancho de banda y potencia requeridas para transmitir. Donde para la misma velocidad de datos, progresivamente, un menor ancho de banda es requerido para QPSK, 8PSK, y 16 QAM, respectivamente, pero la mejora en la eficiencia del ancho de banda está acompañada por un incremento en la potencia para alcanzar el mismo nivel de calidad en la señal.

Otro parámetro que influye en el ancho de banda y potencia requerida para la transmisión es la codificación, en específico el FEC (Forward Error Correction) agrega información al flujo de datos, reduce el nivel de potencia requerida para transmisión y mejora la reconstrucción de datos recibidos en el demodulador. El agregar más bits de corrección mejora la calidad de la señal recibida y también emplea más ancho de banda en el proceso. Por lo tanto, la selección del FEC sirve como una herramienta para balancear el ancho de banda y potencia en la transmisión por satélite. Otro parámetro existente es el factor de cambio del filtro para transmisión (comúnmente conocido como "α") el cual tiene un efecto directo en el ancho de banda y la eficiencia en potencia del sistema. Estos parámetros, además del ancho de banda disponible de los satélites, su potencia y otras variables son tomadas en cuenta por la ATSC para eficientar las aplicaciones de DTV sobre sistemas de satélite.

4.4.2.2 Aplicaciones y servicios

Este estándar proporciona aplicaciones requeridas para la transmisión por satélite de material de programas y/o datos asociados. Dos distintos tipos de servicio son considerados en este:

- 1) Contribución.- Transmisión de datos de programa desde una fuente Distribución a un centro de Distribución. Ejemplos incluyen la cobertura de noticias por satélite, deportes y eventos especiales.
- 2) Distribución.- Transmisión de material (programas y/o datos de un centro radiodifusor a una estación afiliada.

4.4.2.3 Estándares

El sistema analizado por la ATSC para transmisión por satélite está basado en el trabajo previo de la DVB (Digital Video Broadcasting) proyecto de la EBU(European Broadcast Union) para transmisión por satélite. Particularmente se basa en los estándares 300 421 (QPSK) y PrEN 301210 (QPSK, 8QPSK y 16QAM).

4.4.2.4 Sistema para DTV sobre satélite

Un sistema de transmisión digital por satélite es capaz de llevar datos de un lugar a uno ó más distintos. Un diagrama de bloques sencillo de este sistema es mostrado en la Fig. 4.13.

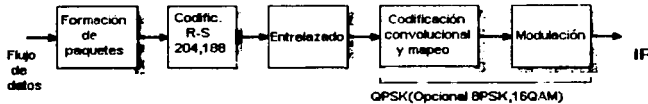


Fig. 4.13 Diagrama de bloques del sistema ATSC satélite

Los datos son procesados mediante un FEC (código de protección de errores), posteriormente se realiza un entrelazado y mapeo a QPSK, 8QPSK ó 16QAM, después un bloque conversor de frecuencia y otras operaciones generan la portadora en IF.

En el diagrama, el modulador acepta un flujo de datos y opera sobre estos generando una portadora en frecuencia intermedia (IF) para transmitir por satélite.

La selección del tipo de modulación y el FEC afectan el ancho de banda de la señal en IF producida por el modulador.

Seleccionando QPSK, 8PSK ó 16 QAM consumimos respectivamente menos ancho de banda para la misma velocidad de datos. También podemos incrementar la velocidad de datos si tenemos ancho de banda disponible, únicamente alternando el tipo de modulación.

La codificación o FEC tiene un impacto similar en el ancho de banda, pues una codificación más poderosa agrega más información al flujo de datos e incrementa el ancho de banda ocupado de la señal emitida en frecuencia intermedia (IF) emitida por el modulador. Hay dos tipos de codificaciones aplicadas en el modulador. Un código Reed-Solomon externo es concatenado con un segundo código interno convolucional Trellis para producir la corrección de errores.

El resultado de la codificación es referido como `code_rate`, cuantificado por fracciones adimensionales (k/n) donde n indica el número de bits que salen del codificador dados k bits de entrada (Ej. rate 1/2 ó rate 7/8). El `code_rate` Reed-Solomon está fijo en 188/204, pero el `code_rate` interno convolucional Trellis es seleccionable, lo que permite modificar el ancho de banda transmitido en IF. Por ejemplo, seleccionando un alto `code_rate` interno, 7/8 en vez de 1/2, también reduce el ancho de banda ocupado dada una velocidad de información.

Una consecuencia de seleccionar una mayor eficiencia de modulación o un alto `code_rate` interno, dado un ancho de banda, es un incremento en la potencia requerida para obtener el mismo nivel de funcionamiento.

La principal medida de potencia es el E_b/N_0 (Energía por bit relativo útil a la potencia de ruido por Hz), y el parámetro principal es el Bit Error Ratio (BER) dado para un particular E_b/N_0 .

Para vídeo digital, un BER de cerca de 10^{-10} es necesario para tener alta calidad de vídeo. Así, notamos que el E_b/N_0 requerido para producir un BER dado provee un camino de comparación entre los esquemas de modulación y codificación. Y también provee una medición relativa de la potencia requerida por un transponder.

Los requerimientos para los procesos de modulación y codificación del flujo de datos digitales están definidos solamente por el modulador, el cual es suficiente para permitir diseños de un receptor que recupere los datos transmitidos. El siguiente proceso será aplicado al flujo de datos (los bloques del modulador se muestran en la Fig. 4.13 y representan la parte del modulador entre líneas segmentadas de la Fig. 4.14):

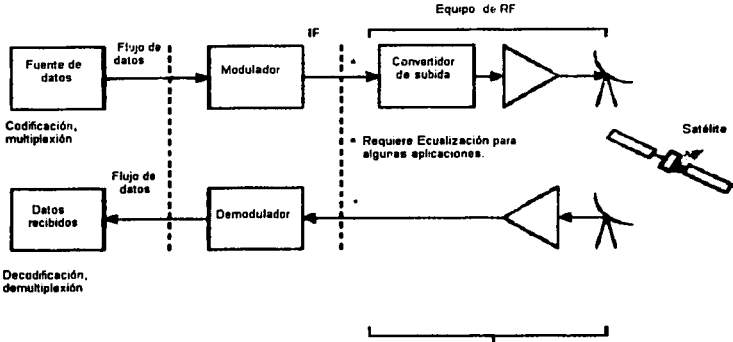


Fig. 4.14 Diagrama de bloques del sistema

4.5 Sistemas de transmisión DTV para el estándar DVB

Algunos de los proyectos y tecnologías desarrollados por DVB para adecuar los sistemas DTV y varios medios de distribución existentes en Europa y otras áreas del mundo son: Satélite, cable, master antena TV (SMATV), terrestre VHF/UHF, etc. A continuación describiremos las principales características de cada uno de los sistemas mencionados.

4.5.1 Señales DVB por satélite

Los sistemas de TV digital por satélite optimizan las ventajas de las comunicaciones por satélite. Una ancha zona de cobertura es atendida simultáneamente sin zonas de sombra. Esto significa que cualquier lugar bajo la cobertura del satélite, es "iluminado" con un similar flujo de potencia, sin hacer diferencias entre zonas de escaso o alto desarrollo. Gracias al "bajo" costo de la infraestructura requerida para recepción por satélite, los sistemas basados en éste facilitan la rápida introducción de servicios de TV digital.

Soluciones para TV interactiva basadas en comunicaciones por satélite están siendo estudiadas por proyectos tecnológicos especializados con la finalidad de completar en el futuro un sistema de radiodifusión global por satélite con capacidades bidireccionales.

El conjunto de parámetros que caracterizan el satélite son factores estratégicamente importantes. Los parámetros a ser considerados son: posición orbital, ancho de banda de transponder¹⁵, potencia del satélite, cobertura y disponibilidad del servicio.

El canal satelital, en contraste a la radiodifusión terrestre y canales de cable es básicamente: No lineal, de banda ancha y limitado en potencia. La no-linealidad es debida a las características de amplitud y fase

¹⁵ Transmisión - Recepción (Simultanea) por satélite.

del amplificador a bordo, el cual es normalmente operado próximo a la zona de saturación con objeto de maximizar la eficiencia de potencia. Contrariamente, las distorsiones lineales son menos críticas que en ambientes de radiodifusión terrestre, sistemas de cable, redes SMATV; gracias a la ausencia de propagación multirayectoria y líneas de reflexión.

La calidad de un servicio de TV por satélite depende conjuntamente del funcionamiento intrínseco de los algoritmos de codificación de sonido e imagen y la disponibilidad del servicio. La optimización del sistema entonces requiere un compromiso de la velocidad de bit entre la codificación de fuente y la codificación de canal para asegurar una alta calidad de sonido, imagen y continuidad del servicio.

4.5.1.1 DVB-S

Este sistema está diseñado para cubrir un rango de ancho de banda de transponder de (26 a 54 MHz) en la banda Ku.

El video, audio y datos son insertados dentro de una longitud fija de paquetes de transporte Stream MPEG-2, constituyendo la información a portar por el satélite de un sistema de TV. Entonces varios procesos son aplicados para hacer la señal menos sensible a errores. El sistema DVB-S es optimizado por una portadora sencilla QPSK codificada por la concatenación de códigos convolucionales y esquemas Reed_Solomon.

El sistema de transmisión es descrito en bloques en la Fig. 4.15: Una estructura (basada en MPEG), aleatorización de señal para formación de espectro, protección de error avanzada (por concatenación de códigos internos y externos), proceso de entrelazado y modulación digital.

La flexibilidad inherente del sistema permite equilibrar entre eficiencia de espectro (Ej. un alto bit-rate) y eficiencia de potencia (Ej. bajo requerimiento de C/N) basados en las características del satélite y los requerimientos del servicio.

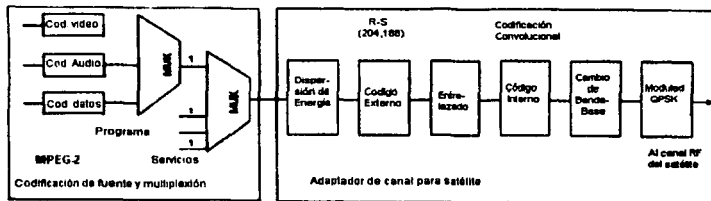


Figura 4.15 DVB-S sistema por satélite

En el sistema DVB-S podemos graficar la tasa de bit (bit-rate) versus número de canales. Tal como se muestra en la gráfica de la Fig. 4.16, donde un ejemplo de aplicación de un sistema de satélite de gran capacidad asumida (50 Mbit/s). Dependiendo de la velocidad de código de corrección de errores seleccionada para la aplicación, el bit-rate neto puede variar de 25 a 50 Mbit/s. El número de canales puede variar de 1 a 50 Mbit/s hasta 32 canales a 1.5 Mbit/s cada uno.

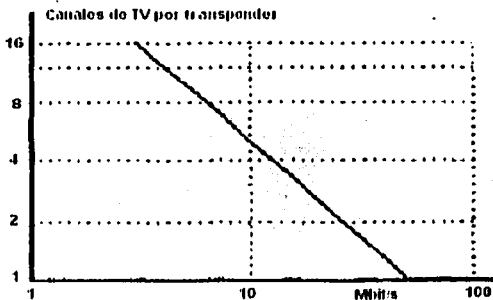


Figura 4.16 Bit-rate versus Número de canales DBV_S

4.5.1.2 DVB-SMATV

Un sistema SMATV (Satellite Master Antenna Television) representa una solución de recepción intermedia entre recepción individual por satélite y el potencial CATV (Sistema por cable). Los sistemas SMATV constituyen un camino de distribución de menor costo para recepción satelital ya que el costo se distribuye entre un grupo de usuarios que viven en un bloque o conjunto de edificios. Por otro lado, la introducción de TV digital por satélite a través de redes SMATV pueden contribuir para acelerar la introducción de servicios de TV digital para alcanzar mayores televidentes como muestra la Fig. 4.17. Consideraremos dos sistemas principales de DVB-SMATV:

- Sistema SMATV A. Basado en la transmodulación transparente de señal QPSK a señal QAM.
- Sistema SMATV B. Basado en la distribución directa de señal QPSK a los usuarios (ver Fig. 4.16).

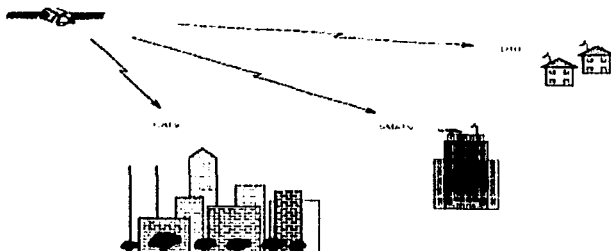


Figura 4.17 Sistemas DVB-SMATV CATV y DTH

1) Sistema SMATV A: Este sistema está basado en el sistema DVB-C sin interfaces bandabase. Este proceso es también conocido como Transmodulación Digital Transparente (TDT) o remodulación de QPSK a 16 QAM, 32 QAM, ó 64 QAM. La señal QAM es distribuida a través de un canal de 7 u 8 MHz en las redes de distribución VHF/UHF. El uso de receptores para satélite IRD permite una adecuada equalización para compensar las distorsiones de canal acorde a los sistemas SMATV aplicados.

2) Sistema SMATV B: Este sistema está basado en el sistema DVB-S. El acceso a este sistema está basado en distribución directa de señales de satélite QPSK, empleando una conversión de frecuencia de la señal recibida de satélite a una frecuencia apropiada en banda a las características de las redes de distribución.

Dos configuraciones de SMATV B son consideradas:

- SMATV_IF (Distribución de frecuencia intermedia 0.95 a 2.05 GHz)
- SMATV S (Distribución en la banda S 230 a 470 MHz)

En ambas configuraciones del sistema B, la señal de satélite alcanza a los receptores IRD sin tener que demodular o transmodular. Entonces, las características de modulación del satélite se conservan como se observa en la Fig. 4.18

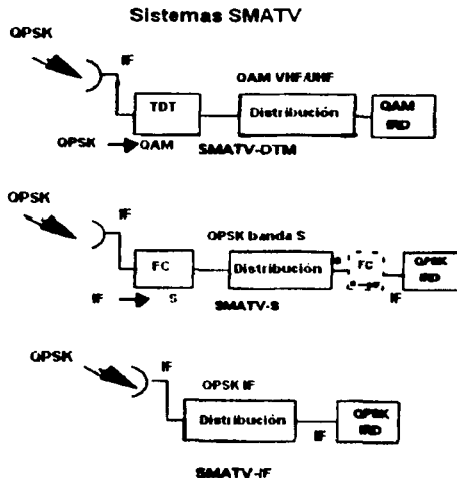


Figura 4.18 Diagrama conceptual SMATV B

4.5.2 Señales DVB por cable

Un sistema de cable en red de TV (CATV) puede representar un gran negocio en el campo de la distribución de programas de TV. Con la infraestructura de las redes de cable actuales se puede proveer servicios de TV digital, incluyendo servicios de TV interactiva. Aunque los sistemas de redes de cable no están limitados en términos de potencia como los sistemas por satélite, el ancho de banda nominal del canal está restringido a 8 MHz. Esto implica el uso de un muy eficiente sistema de modulación tal como el 64 QAM, en lugar de QPSK, como el usado en los satélites.

Algunas zonas de Europa están evolucionando para disfrutar una buena cobertura de redes de cable. Las redes de cable representan una muy importante herramienta para resolver el problema de congestión de frecuencias en sistemas terrestres de algunas zonas geográficas.

4.5.2.1 DVB-C

El sistema de redes de cable tiene el mismo esquema que el sistema por satélite y terrestre, pero la técnica de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) no utiliza código interno de protección de errores como se muestra en la Fig.4.17. El sistema está centrado en 64QAM, pero un sistema de menor nivel, tal como 16QAM y 32 QAM pueden también ser usados. En cada caso, la capacidad de datos del sistema toma diferentes valores.

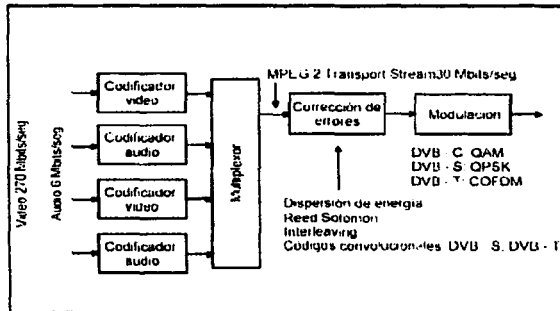


Fig. 4.17 Sistema de transmisión DVB-C y otros

El sistema DVB-C está concebido para proveer señales de: satélite, fuentes locales de programas o señales provenientes de otros lugares de contribución. Las redes de cable tendrán la posibilidad de seleccionar los programas apropiados en las terminales de cable. Entonces la mayoría de las veces, las señales provenientes de satélite serán demultiplexadas en las terminales CATV de manera de poder realizar una selección de programas.

Los sistemas de cable Típicos tienen:

- Ancho de banda estrecho
- Mejor linealidad
- Mejor rango señal a ruido [S/N] de canal.

El ancho de banda disponible en los canales individuales existentes en los sistemas de cable es el resultado de las frecuencias planeadas usadas. Típicamente los planes en Europa son de 7, 8 y ocasionalmente 12MHz para soportar los cambios de servicios terrestres, situación que se ha dado a lo largo de la historia de TV por cable. Esto contrasta con los 25 a 54 MHz disponibles por canal para TV FM análoga en satélite e ilustra la limitación del ancho de banda de los sistemas convencionales de cable en comparación a los sistemas de satélite. Esta restricción significa que la señal de satélite QPSK no es apropiada para cable TV, pero es útil para SMATV.

4.5.2.2 Señales DVB-T en redes de cable

En nuestros días, una conversión de DVB-T a DVB-C es necesaria para permitir la transmisión de señales terrestres de TV en sistemas de TV por cable.

Esta conversión incrementa los costos y diseño de los sistemas.

La no-linealidad introducida por la conversión realizada, y la complejidad de utilizar equalización adaptativa en el dominio del tiempo en el caso de simple portadora comparada con la equalización simple en frecuencia en el caso de sistemas OFDM, ha motivado el estudio del funcionamiento de las señales DVB-T COFDM sobre redes CATV. Actualmente se llevan a cabo estudios que puedan permitir introducir señales DVB-T sobre sistemas CATV basadas en una técnica de portadora sencilla. En estos estudios el ruido de fase ha representado un crucial impedimento.

4.5.3 Particularidades y coincidencias de los sistemas DVB

4.5.3.1 Esquema de transmisión (Modulación y codificación de canal)

Los sistemas DVB optimizan la señal a las características del medio físico:

- El sistema de transmisión por satélite se caracteriza por las limitaciones de potencia. Para permitir un tamaño reducido de la antena, pueden ser aplicadas técnicas de corrección de errores poderosas. Códigos convolucionales de protección de errores FEC (Forward Error Correction) son aplicados (código interno) además la Reed-Solomon (código externo); forman la eficiente concatenación de esquema de codificación. Velocidades de código entre 1/2, 2/3, 5/6, y 7/8 pueden ser seleccionadas. Una baja velocidad de código da una gran redundancia a la señal, esto permite tener un sistema muy robusto, capaz de trabajar con un tamaño reducido de antena. El sistema de modulación usado QPSK, es muy robusto contra no linealidades y de simple implementación. Por otro lado la eficiencia de espectro no es alta.
- Un sistema de transmisión de redes de cable no tiene restricciones mayores de potencia. No obstante, la cable canalización está limitada a 7/8 de MHz para aprovechar el espectro disponible en cable. Entonces esquemas de modulación muy eficientes son aplicados como el 64 QAM, a expensas de un alto C/N requerido y por lo tanto más equipo sofisticado.
- El sistema DVB-SMATV, puede representar una intermediación entre DVB-S y DVB-C. El sistema SMATV (A) requiere una transmodulación de señal QPSK a QAM, y el sistema SMATV (B) trabaja con señal QPSK directa al usuario.
- El sistema terrestre está basado en modulación OFDM porque este tipo de modulación optimiza el funcionamiento de un ambiente multirayectoria, esto permite manejar el concepto SFN.

La tabla 4.6 presenta un resumen de coincidencias y peculiaridades de los sistemas DVB.

4.5.3.2 Coincidencias básicas de los sistemas DVB

Los sistemas de codificación de vídeo y sonido adaptados por DVB usan sofisticadas técnicas de compresión.

En términos generales, el estándar MPEG especifica una sintaxis, la cual permite flexibilidad.

El proyecto DVB ha desarrollado un servicio completo como sistema de comunicación.

Podemos observar que los principales parámetros comúnmente adoptados por los sistemas DVB son, en este caso: Codificación de fuente (Audio y vídeo), multiplexación y estructura, código exterior Reed-Solomon, etc.

Las peculiaridades son principalmente dependientes del funcionamiento físico o del medio, donde tenemos: Esquemas de modulación, protección de Error, rango de frecuencia, etc.

	Especificación	DVB-S (Satélite)	DVB-CS (SMATV)		DVB-C (CATV)
			Sistema B	Sistema A	
Codificación de fuente (Vídeo)	MPEG-2	si	si	si	si
Codificación de fuente (Audio)	MPEG-2	si	si	si	si
Multiplexión de transporte	MPEG-2	si	si	si	si
Código exterior Reed-Solomon	RS(204,180,T=8)	si	si	si	si
Demultiplexión	Trasmisión directa al usuario	si	si		
	Demultiplexión a nivel de usuario	si	si	si	si
	Demultiplexión al final de la transmisión				si
Código interno	convolucional	si	si		
Longitud de Código	K=7	si	si		
FEC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8	si	si		
Modulación de señal	QPSK	si	si	si	
	QAM				si
	QPSK a QAM Transmodulación			si	si
	QPSK usando IRD	si	si		
Esquema de multiplexión	QAM usando IRD			si	si
	TDM Múltiples programas por portadora	si	si	si	si
Ancho de banda de canal	FDM Un programa por portadora	si	si		
		26-54 MHz	26-54 MHz	8MHz	8Hz
Ecuilización en IRD		opcional	recomendada	obligatoria	Esperada

Tabla 4.6 Sistemas DVB-S, DVB-CS y DVB-C

Capítulo 5 Recepción

5.1 Características generales

La mayoría de los equipos usados hoy en día para la creación de programas de televisión son digitales. Aunque todavía la recepción en las casas son señales analógicas, su calidad, disponibilidad y sus contenidos de programa, no serían posibles sin una distribución y producción digital. Cuando se mira un programa en casa, ya venga a través del cable, satélite o terreno, se tiene que al final de la cadena de eventos, todos a excepción de la transmisión son digitales.

La TV Digital proporciona más canales y mejores calidades de imagen, tanto se habla de televisión de calidad estándar (SDTV) como de alta calidad (HDTV). Se puede recibir en casa imágenes con calidad de cine y sonido Hi-Fi, lo que es el cine en casa.

Los agentes y modelos de reparto del sistema de TV digital consta de los siguientes componentes:

- **Contenidos:** De su atractivo depende la suscripción de los usuarios.
- **Programador:** Se encarga de agrupar diferentes contenidos en un conjunto de canales que aumentan el interés del usuario.
- **Difusor:** Muchas veces la frontera entre el productor de contenidos y el programador no es clara. Es un caso característico de las cadenas de TV.
- **Sistema de acceso condicional (CA):** Permite que accedan a la información a los usuarios que la han pagado, esto se hace mediante un sistema de claves.
- **Operador de red:** Se encarga de multiplexar y transportar varios canales de video digital (típicamente MPEG-2).
- **Usuario:** Ha de disponer de un receptor decodificador integrado (IRD) capaz de convertir las señales que le llegan al televisor.
- **Suministradores de receptores decodificadores integrados:** Transforman las señales que llegan en otras adecuadas a su televisor. Los suministradores están representados por la industria.
- **Unidades de Transcontrol a redes de televisión por cable, microondas o terreno:** Las cabeceras de emisión reciben la señal de TV la utilizan para la difusión por sus propias redes.
- **Canal de retorno:** Esta conexión a través, típicamente, del receptor decodificador integrado, permite la interactividad con el sistema para solicitar algún programa de pago u otro servicio.

El proceso que conlleva el receptor debe ser extremadamente inteligente dado lo siguiente: La tecnología digital se basa en el hecho de que la información, bien sea un carácter alfanumérico, una imagen, audio, etc., es transmitida no en forma de onda sonora o de onda luminosa, sino como medida de este fenómeno. Una pantalla estándar de televisión tiene una resolución de 480 pixeles horizontales por 720 pixeles verticales (un total de 245, 600 pixeles). Si añadimos que cada pixel tiene un nivel de brillo, de color, de intensidad, tenemos entonces un incremento de valores de información por pantalla. La transmisión digital permite analizar qué parte de esta información es redundante y suprimirla, en la pantalla siguiente los pixeles que tiene, algunos no o habrán cambiado por lo que se le puede decir al receptor sólo los puntos que han sufrido alguna modificación y que el resto los deje inalterados. Esto entra dentro de lo que se denomina técnicas de compresión de imagen.

De lo anterior se tiene que un televisor digital es un potente ordenador que recibe no imágenes sino vectores, coeficientes, velocidades de cambio o algoritmos matemáticos con tal de reproducir numéricamente la información, los procesa y reproduce según la forma original.

Capítulo 5 Recepción

5.2 Recepción de señales digitales

5.2.1 Equipo de recepción

Las pantallas actuales no permiten la recepción de la nueva señal digital para obtener una imagen visualizable, por lo que existen dos soluciones:

- 1.- Comprar un televisor digital, pero hasta que el sistema no esté completamente introducido, los de pantalla grande, apta para televisión digital, serán caros.
- 2.- La solución más económica es añadir al receptor de televisión un aparato decodificador, que convierta la señal digital en una analógica. Aunque el espectador no percibirá la calidad propia de la televisión digital, la calidad de la imagen superará la que tendría el mismo programa transmitido por un canal analógico.

Así pues, para que el consumidor reciba los servicios de televisión digitales es necesaria una nueva transformación de los "bits" generados en la transmisión, en una señal sonora y visual. Esto se puede hacer ya en la emisión, cuando se trata de una transmisión por cable o en el aparato receptor. Mediante el proceso de decodificación se extraen del total de datos sólo aquellos que pueden ser reconocidos por el ojo y el oído humanos. Esto quiere decir que de la suma de los "bits" transmitidos se extraen aquellos que son necesarios para ser transformados en secuencias de sonido e imágenes. Un decodificador ("Set-Top Box") o un TV-PC (tarjeta de computadora que recibe señal de televisión) decodifica las columnas, renglones y números en una corriente de pequeños cuadrados del tamaño de 8 x 8 píxeles. En estos cuadrados se encuentran entonces 64 píxeles de imagen próximos. Cada uno representa por sí mismo un pequeño detalle de la imagen televisada. Así se pueden comparar los contenidos de los puntos de imagen próximos, circunstancia decisiva para todos los pasos de la descompresión.

Probablemente uno de los requisitos más críticos para la adopción de un nuevo estándar sea la disponibilidad de equipos que lo soporten. En efecto, un factor clave en el éxito de la implantación de un sistema de televisión digital es lo atractivo que sea el sistema y los nuevos servicios y ventajas que ofrezca respecto de los anteriores sistemas analógicos, lo cual viene en buena parte marcado por la posibilidad de disponer de receptores sencillos por un lado, y versátiles y que ofrezcan gran variedad de servicios por otra.

Entre las ventajas respecto de los existentes sistemas analógicos destacamos:

- Mejor aprovechamiento del ancho de banda, lo que conduce a la posibilidad de ofrecer más canales, y/o mejor calidad.
- Relacionado con la utilización del espectro, aparece la posibilidad del acceso condicional, lo que se refleja en nuevas modalidades como suscripciones, Pay-per-View, etc, basadas en la interactividad con el usuario.
- Mejor calidad tanto de imagen como de audio.
- Posibilidad de dedicar parte del espectro a transmisión de datos o imágenes, lo que permite al usuario el acceso a otras informaciones (como por ejemplo las estadísticas de un jugador en un evento deportivo).

Respecto al tema, cabe comentar el ingente trabajo adicional de especificación que se ha realizado en Inglaterra (como país pionero y probablemente referencia) con objeto de maximizar la interoperabilidad manteniéndose la compatibilidad con DVB. Gran parte de ese trabajo estaba destinado a la especificación del API (Application Programming Interface) para servicios interactivos. Principalmente hay dos opciones:

- La primera, adoptada en el Reino Unido, es la ISO/IEC 13522-5 (MHEG-5), la cual soporta un nivel básico de servicios interactivos, y proporciona amplios mecanismos de extensión hacia servicios más avanzados.
- La segunda, desarrollado por DVB, y denominada DVB-MHP (Multimedia Home Platform).

De todas formas, aunque aún prevalecen los decodificadores únicamente para operadores específicos, resulta impensable que en un futuro próximo, en el que todos los receptores de televisión serán digitales, se continúe con el desarrollo de decodificadores distintos para distintos servicios digitales. Las economías de escala, que permitirán su introducción en el mercado a precios bajos, no obstante requieren, como ya se ha comentado, de la estandarización de los equipos, tal y como ha sucedido y sucede con la telefonía móvil.

Habrà que tener en cuenta que, a diferencia de los factores que se consideraron en la década de los setenta cuando se tuvo que optar por uno de los sistemas de televisión a color, en el caso de la televisión digital los receptores analógicos no son compatibles con señales digitales, como sí lo eran los televisores monocromáticos con respecto a las transmisiones a color. Lo que significa tener que usar en una fase de transición convertidores que permitan recibir la señal digital con un receptor analógico, con lo cual se perderían las ventajas intrínsecas de la señal digital o tener que usar receptores digitales, que en su fase de introducción tendrían precios elevados.

5.2.2 Resolución en recepción de DTV

La HDTV (televisión de alta definición" por su sigla en inglés), es realmente sólo una forma de televisión digital, de hecho, existen 18 formatos diferentes entre los cuales las teledifusoras pueden elegir, y los mismos varían en resolución y modalidad de exploración o "escaneo" de las imágenes. La resolución puede variar de 480 líneas horizontales (que es lo que producen las televisiones análogas de hoy día) hasta 1080 líneas (que es lo que produce una HDTV). El modo de exploración de las imágenes es entrelazado (la imagen es puesta en la pantalla en dos "barridas" de un "disparador" de electrones, como en las televisiones normales), o progresivo (la imagen es puesta de una sola vez, como en los monitores de las computadoras). Por este motivo los formatos DTV tienen nombres como 1080i (exploración entrelazada) y 720p (exploración progresiva). El receptor de televisión debe ser compatible con todos. En la Fig. 5.1 se observa lo dicho anteriormente.

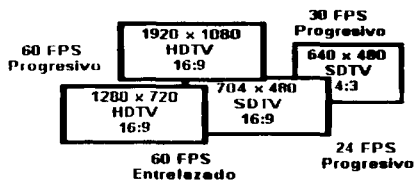


Fig. 5.1 Formatos de televisión

Un monitor o una caja de sintonización que sean compatibles con DTV pueden descifrar todos los formatos. No obstante, todos los monitores DTV son compatibles con una auténtica resolución HDTV. El término "Alta Definición" ha venido aplicándose a distintas mejoras que se han ido consiguiendo en el procesamiento y visualización de la señal de televisión desde su aparición. Se caracteriza por tener mínimo una resolución al menos doble de las actuales tanto en anchura como en altura, colorimetría mejorada y una relación de aspecto más ancha.

Existen dos categorías de DTV, Televisión de Definición Estàndar (SDTV) y la HDTV. Cada una consiste en dos juegos de resoluciones pixel. La TV anàloga tradicional tiene una resolución de alrededor de 640 x 480 píxeles o cerca de 300,000 píxeles en total. Eso es poco en comparación con las pantallas actuales de 1280 x 1024 píxeles, las cuales producen más de cuatro veces esa cantidad de píxeles, cerca de 1.3 millones en total. En comparación con esto, la HDTV puede llegar a tener una resolución de hasta 1920 x 1080 píxeles, más de 2 millones en total. Eso es más de seis veces la configuración de una televisión regular, mejor aún, HDTV tiene un formato de pantalla amplia ("widescreen") como las películas de cine,

de forma que podrá ver películas en este formato en la Proporción latitud-altura correcta (proporción entre la anchura y la altura de la figura en la pantalla) (16:9, horizontal a vertical), en lugar de la proporción 4:3 de la TV análoga, la cual hace que muchas veces la imagen se corte en los lados. En la Fig. 5.2 se observa que la SDTV ofrece resoluciones pixel de 480X640 y 480X704. La HDTV ofrece resoluciones pixel de 720X1280 y 1080X1920.

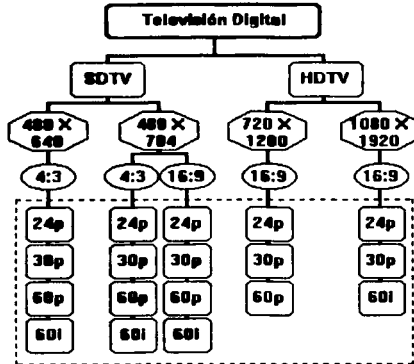


Fig. 5.2 Formatos de televisión digital

La resolución 480X640 de la SDTV está diseñada para ver programas preparados en la razón de aspecto 4:3. Se puede transmitir en tres frecuencias de refresco de exploración: 24, 30 o 60 fps. También se puede transmitir en la frecuencia de refresco de exploración entrelazada de 60 fps. La resolución pixel 480X704 se puede usar tanto para la razón de aspecto 4:3 como para la 16:9. En cada modo de razón de aspecto, se pueden usar las cuatro velocidades de exploración: 24p, 30p, 60p y 60i. Las resoluciones pixel usadas en HDTV son 720X1280 y 1080X1920. Ambas sirven sólo para la razón de aspecto 16:9.

Ambas resoluciones HDTV comparten las frecuencias de refresco de exploración progresivas de 24 y 30 fps. Sin embargo, la frecuencia de refresco progresiva de 60 fps está limitada a la resolución 720X1280. Sólo la 60 fps entrelazada se usa en la resolución 1080X1920 debido a limitaciones en la velocidad del flujo de datos.

Se puede hacer un ajuste de resolución en la TV análoga (sería algo como tomar una foto fija con una cámara de formato grande), pero el problema está en el ancho de banda. Sin ningún tipo de compresión, una imagen de video de alta resolución no podría ser enviada a través de las limitadas frecuencias de la banda de la TV análoga. Y ya cuando se habla de compresión, es mejor optar por el modelo digital de una televisión "preparada" para HDTV puede mostrar programas transmitidos en HDTV, pero se necesitará una caja de sintonización por separado. La opción anterior es válida, ya que el aparato de televisión debe durar más que la tecnología de la caja convertidora, que aún se encuentra en etapa de transición, también hay televisores compatibles con DTV 480p o DTV 480p preparada, los cuales aceptan señales de un sintonizador digital pero no tienen un tubo de alta definición.

Si una señal de HDTV de 1080i (que es igual a recursos de video entrelazados de 480 líneas) pasa por un sintonizador para ser transmitida a una televisión que no acepta el patrón 1080i, este será disminuido

para ajustarse a la capacidad del monitor. El sintonizador es en realidad una computadora con un mecanismo de visualización, dado que cualquier receptor HDTV habrá de tener capacidad de proceso y de almacenamiento de señales digitales. Será por tanto como un ordenador especializado en el tratamiento de imágenes, difuminándose así la barrera entre televisores y ordenadores. Una mejor aproximación a la HDTV es olvidar el receptor de televisión como elemento distinto y considerarlo como un potente ordenador con una pantalla de alta calidad, de modo que esté abierto a manejar señales digitales en diferentes formatos y que puede admitir señales de diferentes fuentes (antena, cable, satellite, etc.) sin más que aplicar el programa adecuado para descomprimir las imágenes y presentarlas en pantalla.

En casi todo el mundo las PTT's (Compañías Telefónicas) están mejorando sus redes y pasándolas a trabajar de modo digital. Las RDSI (Redes Digitales de Servicios Integrados) son redes digitales cada vez con mayor capacidad de transmisión de datos, con lo que pueden ser capaces de transmitir señales de televisión y en poco tiempo de HDTV. Entonces, la televisión se convierte en otra aplicación que necesita transmitir datos desde una fuente a un receptor.

La organización de un sistema digital de comunicaciones está definida por los niveles de la OSI que abarca desde el nivel físico (la red física que hace el transporte de los datos) hasta el nivel de aplicación (el nivel más alto y desde el que todos los inferiores son transparentes). Esta forma abstracta de representar un sistema de televisión permite que las señales sean transmitidas en formatos diferentes y que después de ser procesadas sean presentadas en diferentes tipos de pantallas y formatos, constituyendo lo que se conoce como un receptor de arquitectura abierta.

5.3 Receptor ATSC

En el receptor, como se observa en la Fig. 5.3, el proceso básicamente es inverso a lo que es la transmisión. La antena recibe la señal. Se usan circuitos IF de conversión dual. La frecuencia IF final se demodula. El flujo de datos digitales resultante se ecualiza, después se decodifica en bits de datos. Se desintercala, se corrigen los errores y se desaleatoriza. Esto recrea el flujo de transporte original. Los paquetes del flujo de transporte se decodifican en los decodificadores correspondientes para recrear las señales originales.

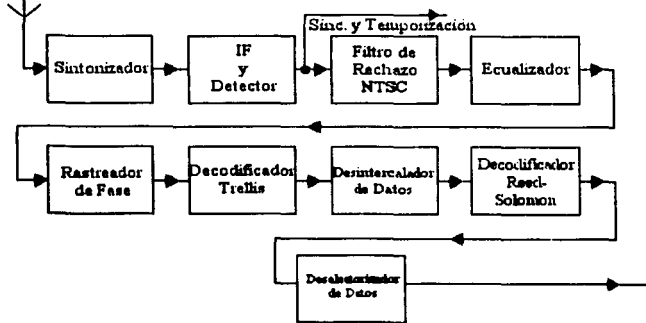


Fig. 5.3 Diagrama de bloque simplificado de receptor VSB

5.3.1 Recepción de RF

A continuación, en la Fig. 5.4, se tiene un sistema de sintonización de TV Digital típico, como lo publicó el Comité de Sistemas Avanzados de Televisión. Cubre las etapas que se encuentran entre la antena receptora y el detector piloto.

Para facilitar que la señal se enganche al receptor, se usa un piloto, el cual se anexa al lado suprimido de la señal RF del transportador.

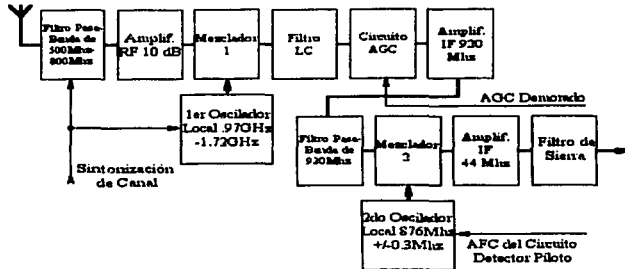


Fig. 5.4 Diagrama de bloques funcional de un sintonizador DTV

El sintonizador usa un filtro pasabanda RF sintonizable controlado por el IRD (receptor decodificador integrado por sus siglas en inglés). Cubre frecuencias entre 50 MHz y 800 MHz (canal 2 a canal 69). Un amplificador de 10 dB amplifica la RF recibida y después la envía a la etapa mezcladora.

5.3.2 Primer oscilador local y mezclador

El voltaje de sintonización usado para sintonizar el filtro pasabanda RF también se usa para sintonizar un oscilador local. El oscilador local se puede sintonizar a frecuencias entre 970 MHz y 1.720 MHz. Las frecuencias RF y del oscilador se convierten en heterodinas en la etapa del mezclador, produciendo una frecuencia de 920 MHz. La salida del mezclador se aplica a un filtro LC sintonizado a 920 MHz y después a un circuito AGC (control automático de ganancia).

5.3.3 Filtros AGC, amplificador de IF y pasabanda

Para evitar sobrecargas en algunas de las etapas activas del circuito, se usa un circuito AGC con el rango de 30 dB. Este circuito está controlado por el AGC demorado, que se genera en el circuito detector. La señal se aplica a un amplificador IF de 920 MHz que compensa las pérdidas de ganancia que sufre el circuito filtro y proporciona suficiente ganancia de señal. La señal IF se aplica después a un filtro cerámico resonador de 920 MHz. Su ancho de banda angosto aumenta y mejora la selectividad.

5.3.4 IF de 44 MHz

Para asegurar una sintonización precisa y la exclusión de señales adyacentes no deseadas, el sistema de sintonización usado es un sistema de conversión dual. La señal de un segundo oscilador local con una frecuencia de 876 MHz se mezcla con una señal IF de 920 MHz. La etapa mezcladora produce la señal IF final con una frecuencia central de 44 MHz (igual que en el NTSC).

El segundo oscilador local está diseñado para que su frecuencia se pueda desviar en el rango de $\pm 300\text{KHz}$. Está controlado por un voltaje AFC (control automático de frecuencia) generado por el circuito de Bucle de Enganche de Fase y de Frecuencia (FPLL). El AFC facilita un rápido enganche de la señal recibida y por tanto asegura una sintonización fina precisa, ver Fig. 5.5. El AFC se basa en la presencia del piloto en la RF recibida.



Fig. 5.5 Piloto IF de entrada

La señal IF de 44MHz se aplica a un amplificador de ganancia constante. Después se aplica a un filtro de diente de sierra (SAW por sus siglas en inglés) de 44MHz y después sale a un circuito de detección sincrónico para recuperar los datos.

5.3.5 Detector sincrónico - FPLL

Un circuito de Bucle de Enganche de Fase y de Frecuencia (FPLL) se usa para facilitar la adquisición de canal. El circuito utiliza un oscilador local fijo, llamado el "tercer oscilador local". La señal del oscilador local sale en dos fases separadas en 90° . Las dos señales del oscilador local se multiplican individualmente con la señal IF de 44MHz. Esto produce un canal I y un canal Q como se tiene en la Fig. 5.6.

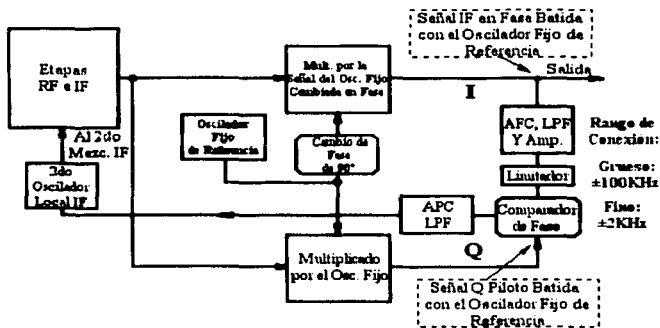


Fig.5.6 Transportador típico frecuencia FPLL y bucle de enganche de fase

Al seleccionar un canal, la diferencia entre el piloto IF de entrada y las frecuencias del oscilador local, produce una señal de batido (barrido). El LPF (filtro pasabajos, por sus siglas en inglés) del AFC permite que pase la señal de batido, al tiempo que bloquea los datos de frecuencia alta y las señales de ruido. El circuito limitador limita la señal de batido a una amplitud constante de ± 1 señal de onda cuadrada. Podemos ver en la Fig. 5.7 la señal piloto con el oscilador fijo de referencia.

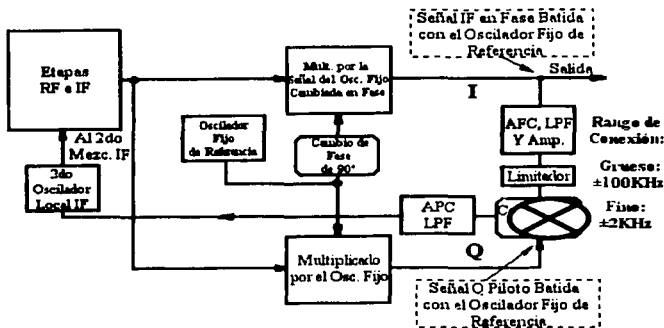


Fig.5.7 Transportador típico frecuencia FPLL y bucle de enganche de fase

Mientras tanto, la diferencia en frecuencias entre el piloto IF y la señal del oscilador fuera de fase de 90° produce una señal de batido en el canal Q. Cuando el canal Q y la onda cuadrada producida por el circuito limitador se multiplican, el resultado es una curva "S" de AFC. La polaridad de la señal de error de la curva S dependerá de si la frecuencia de la señal IF es más alta o más baja que la frecuencia del oscilador local.

La señal de error de la curva S se aplica al segundo oscilador local, sintonizando por tanto la señal de estación para ponerla en rango. El bucle de frecuencia tiene un rango de $\pm 100\text{KHz}$. Cuando la diferencia en frecuencia entre la señal piloto IF y el oscilador local está cerca de 0, entra el bucle APC (Control de Fase Automático) del circuito FPLL.

Ahora, el circuito actúa como un bucle de enganche de fase bifásico estable. Debido a que se sabe que la polaridad del piloto se transmite positiva, el bucle se engancha en la polaridad positiva. El circuito LPF del APC, suministra el voltaje de error de fase al segundo oscilador local. El circuito LPF del APC está diseñado para tener el ancho suficiente para permitir la conexión al bucle de frecuencia de $\pm 100\text{KHz}$, y para ser lo suficientemente angosto como para bloquear la señal de interferencia del canal adyacente NTSC.

5.3.6 Condiciones de Recepción

Para que los circuitos RF, IF y detector sincrónico puedan adquirir un canal y engancharse a él, la señal debe cumplir ciertas condiciones. En la Fig. 5.8 la gráfica "A", a la izquierda, se muestra una buena señal NTSC. En NTSC la energía no está distribuida con uniformidad a través del ancho de banda. Sin embargo, la TV Digital está diseñada para tener una distribución uniforme de la energía. La gráfica "B" muestra una señal de TV Digital casi ideal. El piloto está claramente definido, la respuesta es plana y la ganancia está en -30dB.

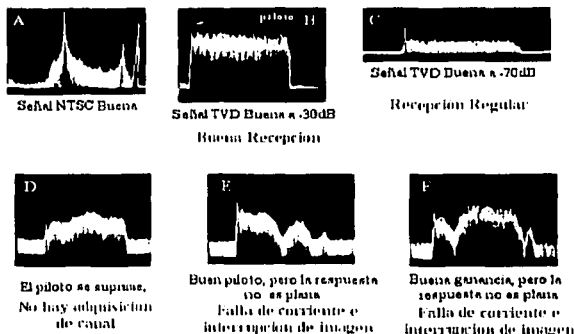


Fig. 5.8 Condiciones de recepción.

La gráfica "C" muestra una señal relativamente buena. El piloto está claramente definido, la respuesta es plana, pero la ganancia es baja. Debido a que las señales de video y audio son digitales, no habrá imagen con efecto de nieve ni sonido con siseo. Sin embargo, si la ganancia baja, se puede perder el enganche al canal, causando la pérdida de la imagen.

La señal mostrada en la gráfica "D" tiene un nivel piloto más bajo del necesario. Esto ocasiona que el detector sincrónico no pueda capturar y engancharse al canal. Tanto la gráfica "E" como la "F" contienen una señal piloto relativamente buena, permitiendo el enganche al canal. Sin embargo, debido a que la respuesta no es plana, habrá una interrupción digital definitiva en la imagen.

Aunque los transmisores de energía más bajos pueden llegar a lugares más lejanos que en NTSC, se tienen que cumplir ciertos requisitos tales como: La respuesta de señal recibida tiene que ser plana, el piloto tiene que estar definido y no suprimido, y la señal debe ser suficiente para condiciones de recepción.

5.3.7 Proceso de recepción digital

El proceso digital de DTV cubre los algoritmos de detección y recuperación utilizados en los receptores de TV Digital.

En la Fig. 5.9 se tiene un diagrama de bloques simplificado que indica las etapas funcionales del proceso de señal digital que tiene lugar en un receptor de Televisión Digital.

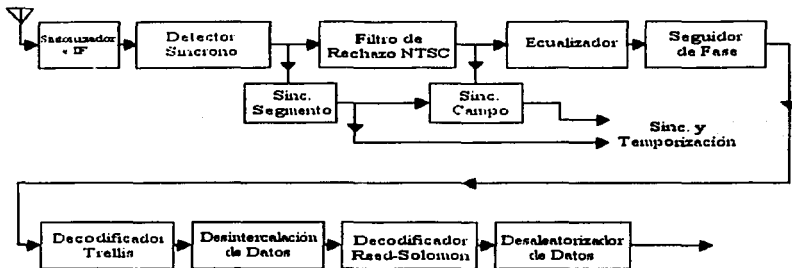


Fig. 5.9 Etapas del proceso de señal digital

5.3.8 Detección de sincronización de segmento

Antes de la transmisión, los datos de TV Digital se convierten a símbolos, después se organizan en segmentos. Los símbolos modulan la señal RF a 8 niveles de -7 a +7, como se muestra en la Fig. 5.10 de segmento de datos VSB a la izquierda. Después de adquirir la señal de canal y engancharse a ella, usando el circuito Detector Sincrónico FPLL, los símbolos de los segmentos de datos se pueden sacar del canal "I". La tasa de símbolos es de 10.76 Megasímbolos por Segundo.

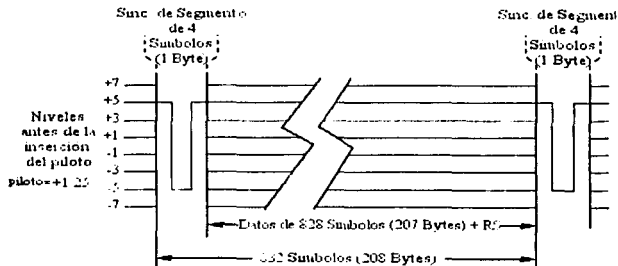


Fig.5.10 Segmento de Datos VSB

La sincronización de segmento repetitivo de cuatro símbolos se detecta inicialmente de entre datos aleatorios, mientras el circuito de Bucle de Enganche de Fase (PLL) está corriendo libremente. Al detectarlo, el circuito PLL se engancha a la sincronización de segmento. El circuito PLL proporciona la señal de reloj necesaria para convertir los símbolos de 9 niveles a datos digitales.

5.3.9 Generación AGC

En cuanto se detecta una sincronización de segmento, se aplica una muestra a un circuito de Control de Ganancia Automático (AGC). El circuito AGC genera un voltaje de control de ganancia para el circuito IF, y un voltaje de control demorado (AGC demorado) para el circuito RF sintonizador.

Después de convertirlos a digital, los datos de los símbolos se envían a circuitos de detección de datos como se tiene en la Fig. 5.11.

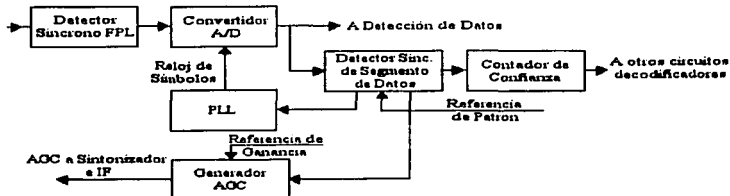


Fig.5.11 Detección sinc. segmento, recuperación de reloj de símbolo y generación de AGC

5.3.10 Detección de sincronización de campo

Después de retirar cualquier interferencia NTSC que esté presente, las señales de sincronización del primero y segundo campos de datos de cada cuadro se tienen que recuperar. Las señales de sincronización del primero y segundo campos de datos difieren en su contenido. Esto permite que el decodificador distinga entre los dos.

5.3.11 Recuperación de sincronización de campo

Recordando que los símbolos se organizan en segmentos, cada 313 segmentos se agrupan en un campo, designando el primer segmento como la sincronización de campo. Cada dos campos se agrupan en un cuadro como se observa en la Fig. 5.12 Para recuperar correctamente los datos en su secuencia original, se tienen que detectar los segmentos de sincronización de campo.

5.3.12 Recuperación de sincronización de cuadro

En el proceso de recuperación de la sincronización de cuadro, la sincronización de segmento se usa para sintetizar la sincronización del campo #1 y la sincronización del campo #2, ideales para usarlos como referencias. Las referencias se comparan con los datos que entran. Las sincronizaciones de campo reconocidas se aplican a los contadores de confianza. Al llegar a un número predefinido de señales de sincronización de campo, el contador de confianza pone las señales de sincronización a disposición de los circuitos decodificadores.

5.3.13 Ecuualizador

Se usa un circuito ecuualizador para retirar las distorsiones de señal lineal. Este circuito compensa las imágenes distorsionadas e imágenes fantasma. Algunas de estas distorsiones se ocasionan al procesar los componentes en el receptor y otras se originan en el transmisor.

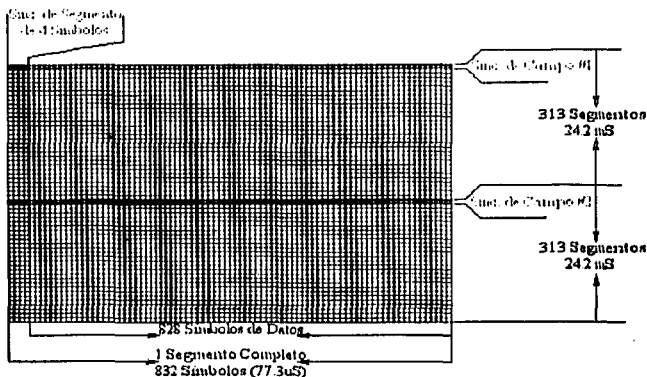


Fig.5.12 Recuperación de sincronización

5.3.14 Rastreador de Fase

El circuito FPLL realizó inicialmente el rastreo de fase para la señal de entrada. El circuito FPLL rastreó la fase de señal, usando la señal piloto. Para minimizar aún más la cantidad de ruido de la fase, se utiliza otro bucle de rastreo de fase sobre los datos. En esta etapa, los datos todavía tienen el formato de símbolos, y su tasa es de 10.76M Símbolos por segundo.

5.3.15 Decodificador Trellis

En el transmisor, se realizó la codificación Trellis para minimizar la pérdida de datos debido a ruido de ráfaga e interferencia de canal adyacente NTSC. Esta codificación incorpora la intercalación Intra-bytes; después se aumenta la sincronización de segmento.

Por lo tanto, antes de realizar la decodificación Trellis, se tiene que retirar la sincronización de segmento. Un circuito de suspensión de sincronización se incorpora en el receptor para retirar la sincronización de segmento.

La Intercalación en el receptor se hizo a una profundidad de 12 símbolos. Por lo tanto es necesaria una demora de 12 símbolos en el circuito de suspensión de segmento. El decodificador Trellis desintercala todos los símbolos, excluyendo los símbolos de sincronización. Los datos se envían entonces al desintercalador convolucional.

5.3.16 Desintercalador de Datos

En el transmisor, los datos se intercalaron a una profundidad de 1/6 de campo de datos para protegerlos de interferencia de canal adyacente NTSC y de ruido de ráfaga. En el receptor, el desintercalador de datos invierte el proceso para regresar los datos a su orden correcto.

La desintercalación decodifica el orden de los bytes de datos dentro de la profundidad de 1/6 de campo de datos (52 segmentos de datos). En la Fig 5.13 se tiene un diagrama funcional del desintercalador. Los datos resultantes son aleatorios y contienen los códigos de paridad Reed-Solomon.

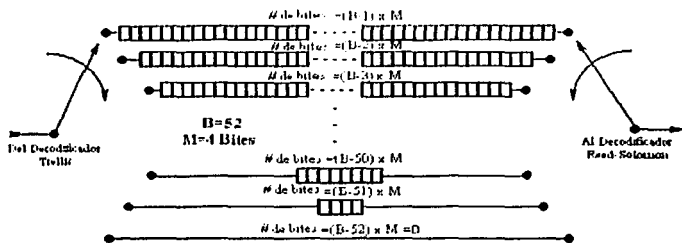


Fig.5.13 Desintercalador de datos.

5.3.17 Decodificador Reed-Solomon

Para asegurar que se puedan reconstruir los datos perdidos, se empleó la codificación de corrección de error Reed-Solomon en el transmisor. Cada paquete de transporte MPEG-2 que contuviera 188 bytes se separó de su byte de sincronización y después se añadieron 20 bytes de paridad Reed-Solomon dando como resultado un paquete con una longitud de 207 bytes.

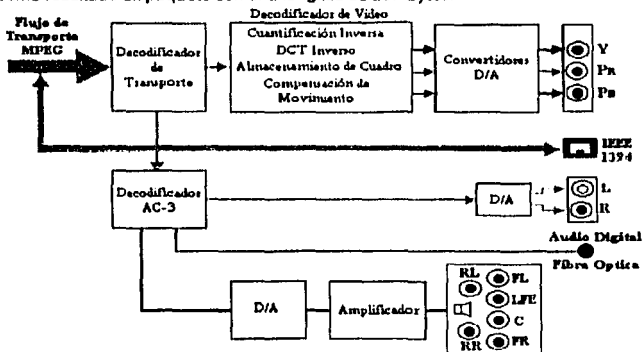


Fig.5.14 Decodificador Reed-Solomon

En el receptor, como se ve en la Fig. 5.14, los 20 bytes de corrección de error se usan para reconstruir hasta 10 bytes perdidos o dañados por paquete. Cualquier byte faltante o incorrecto recibido por el receptor se corrige en este circuito. La salida de este circuito consiste en datos aleatorizados en el transmisor.

5.3.18 Desaleatorizador de datos

Los datos se hicieron aleatorios en el transmisor para asegurar que se conserve el paso de la transmisión. Se transmiten pseudodatos cuando la alimentación de datos se interrumpe. La función del desaleatorizador es descartar los pseudodatos y regresar los datos válidos a los valores originales.

5.3.19 Flujo de bits de transporte

Después de la desaleatorización, se recupera el flujo de bits de transporte MPEG-2. El flujo de bits se alimenta al decodificador de transporte. Además el flujo de bits se puede poner en interfaz con otros aparatos. Una interfaz como la IEEE-1394 conocida como "Alambre de Fuego" (Fire Wire) puede comunicar datos en ambas direcciones a aparatos como videograbadoras digitales, cámaras digitales y muchos otros.

5.3.20 Decodificador de transporte

El sistema de transporte MPEG-2 almacena información sobre cada paquete de transporte en la cabecera del paquete. La función del decodificador de transporte es leer los datos de cada cabecera de paquete y enviar el paquete a una trayectoria adecuada. El diagrama de bloques sólo muestra las trayectorias de audio y de video. Debido a que las aplicaciones de los paquetes pueden ser muy numerosas, pueden estar presentes muchas trayectorias, como el sistema de control y muchos más.

5.3.21 Decodificador de video

Al recibir los paquetes de datos del decodificador de transporte, el decodificador de video desempaca los datos, los aplica a un DCT inverso y extrae los vectores de movimiento. Los campos o cuadros de video se ensamblan y almacenan en la memoria, después salen como señales-componente digitales. El proceso del decodificador de video es el reverso del proceso del codificador en el transmisor.

5.3.22 Decodificador de audio

Al recibir los paquetes de datos del decodificador de transporte, el decodificador de audio desempaca los datos. Los datos resultantes vienen en forma de cuadros AC-3. La línea de fibra óptica da salida a estos datos. También se decodifican en 5.1 canales y salen a un convertidor digital a analógico (DAC). Los datos también se decodifican en una mezcla descendente de 2 canales (Estéreo) y salen a otro convertidor digital a analógico.

5.4 Receptor DVB

Las especificaciones dadas en el estándar DVB no condicionan la realización del receptor, ya que únicamente imponen un límite temporal, que restringe el retardo máximo permitido para que el receptor entregue tanto imágenes como sonido. En consecuencia, las especificaciones recogidas en el estándar dejan una total libertad a la hora de implementar el sistema receptor ya que no establece restricciones para poner en práctica cualquier tipo de solución.

En la Fig. 5.15 se presenta un esquema donde se puede ver la disposición de los distintos bloques que componen la cadena de un receptor COFDM:

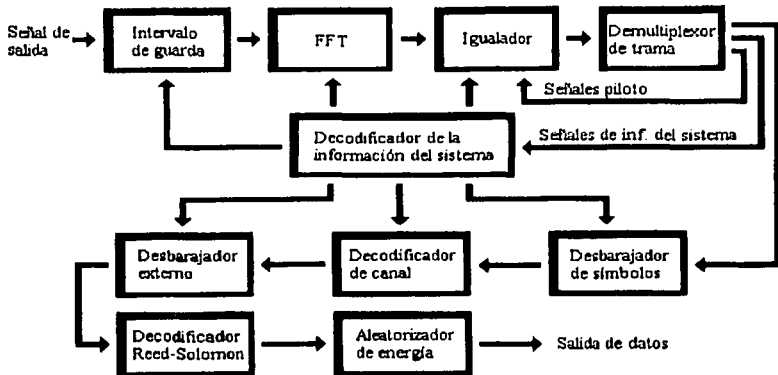


Fig. 5.15 Bloques del receptor COFDM

A pesar de esta libertad para implementar el receptor, en muchos casos la mejor solución es implementar un bloque que realice la función inversa del correspondiente bloque del transmisor.

De igual forma que en el transmisor, se puede hacer una división del dominio de trabajo antes y después de la realización de la FFT (transformada rápida de Fourier por sus siglas en inglés) que son el temporal y frecuencial, respectivamente.

5.4.1 Intervalo de Guarda

Este primer bloque del receptor tiene como misión la eliminación del intervalo de guarda en transmisión (intervalo temporal que se añade al intervalo de tiempo necesario para la transmisión de un supersímbolo, con esto se evita que unos símbolos se vean afectados por otros generando la interferencia intersímbolo; aunque un símbolo siempre puede ser afectado por una versión retardada de sí mismo provocando la interferencia intrasímbolo), introducido justo antes de la salida al canal con el objetivo de evitar los efectos del multitrayectoria (recepción de una señal y sucesivas versiones retardadas de ella misma). El nombre multitrayectoria se debe a que el efecto es provocado por rebotes de la señal aunque éste no es el único motivo posible de la ocurrencia de este efecto) con respecto a la interferencia intersímbolo, de forma que la única interferencia posible sea la denominada como intrasímbolo.

La señal recibida se muestra con un período de muestreo de $T = 7/64$ s. y se toman un número determinado de muestras según el modo de transmisión y el valor de la duración del intervalo de guarda. La eliminación del intervalo de guarda consiste en no tener en consideración las M primeras muestras de cada período de símbolo, como se muestra en la Fig. 5.16.

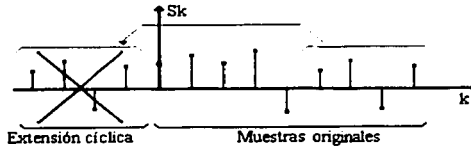


Fig.5.16 Intervalo de guarda

El valor que ha de tomar M se puede ver en la Tabla 5.1 en función del modo de transmisión y de la duración del intervalo guarda.

	$\Delta T_r=1/4$	$\Delta T_r=1/8$	$\Delta T_r=1/16$	$\Delta T_r=1/32$
Modo 2K	512	256	128	64
Modo 8K	2048	1024	512	256

Tabla 5.1 Valores de M

Una vez eliminado el intervalo de guarda, las muestras restantes llevan toda la información necesaria para una correcta demodulación y constituirán la entrada del siguiente elemento.

5.4.2 FFT

Este bloque tiene como objetivo realizar la operación inversa a la IFFT (Una vez que se tienen todos los datos distribuidos en frecuencia, el siguiente paso que establece el estándar es la aplicación de la IFFT con lo cual, a partir de este punto, se pasa a trabajar en el dominio temporal; la realización del algoritmo de la IFFT no es de interés en este trabajo; sólo cabe destacar que para que sea eficiente el algoritmo, el número de puntos con los que debe trabajar tiene que ser potencia de dos, por lo que en el modo 2K se trabaja con 2048 puntos y en el modo 8K con 8192), de la cadena transmisora, por lo que ahora se realizará la transformada de Fourier directa (FFT).

En la Fig. 5.17 se muestran los pasos a realizar en este bloque para obtener la información adecuada que espera el siguiente elemento de la cadena receptora (el igualador).

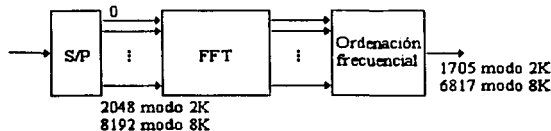


Fig. 5.17 Pasos del bloque FFT

El número de puntos que se utilizarán en el algoritmo de la FFT dependerá del modo de transmisión usado, 2048 puntos para el modo 2K y 8192 puntos para el modo 8K.

En el transmisor, para poder realizar el algoritmo de la IFFT había que completar con ceros las muestras de entrada hasta obtener 2048 o 8192 puntos, según el caso. Por lo tanto, en el receptor, después de realizar la FFT es necesaria una ordenación frecuencial para eliminar los puntos correspondientes a las altas frecuencias y que no llevan información ya que valen cero. Esta ordenación frecuencial consiste en descartar esos valores nulos y serializar solamente 1705 o 6817 valores dependiendo del modo de transmisión.

5.4.3 Igualador

Una vez hecho el paso del dominio temporal al frecuencial, el igualador tiene como misión mitigar en lo posible las distorsiones inherentes al canal.

Debido a que no existen canales perfectos, el receptor será alcanzado por diversas señales que serán versiones retardadas del rayo directo. El intervalo de guarda elimina la interferencia intersímbolo, y la misión del igualador será la de eliminar la interferencia intrasímbolo intentando compensar la acción del canal.

Si el número de portadoras transmitidas es suficientemente grande, el comportamiento frecuencial del canal no será selectivo, es decir, se puede considerar que la influencia del canal para cada portadora se reduce a una atenuación y una fase, siempre que el canal sea estable durante el período de tiempo que dura un supersímbolo.

Si denominamos H_k al valor con el que el canal afecta al ancho de banda ocupado por la portadora k -ésima, la igualación (que consiste en eliminar la influencia del canal sobre los datos mediante alguna técnica de filtrado inverso que suele requerir del conocimiento del canal), según el criterio de cero forzado se realiza multiplicando la portadora k -ésima por $1/H_k$. Este criterio no tiene en cuenta el ruido presente, por lo que ante ruidos espectrales, H_k será un valor alto y el ruido que acompaña a la señal en esas frecuencias se verá tremendamente amplificado.

Si se quiere tener en cuenta el efecto combinado del ruido y de la interferencia, se puede optimizar según el criterio del mínimo error cuadrático, en la que la portadora k -ésima se ve multiplicada por el coeficiente donde σ_n^2 es la varianza de ruido aditivo y σ_s^2 es la varianza de los símbolos transmitidos.

$$I_k = \frac{H_k^*}{|H_k|^2 + \sigma_n^2 / \sigma_s^2}$$

Para obtener los valores de H_k se usan las señales piloto insertadas en todos los supersímbolos. Así, se hace una buena estimación en las frecuencias donde están situadas las señales piloto, mientras que el resto de los H_k se calculan mediante interpolación.

5.4.4 Demultiplexor de Trama

En un supersímbolo OFDM no sólo se transmiten datos, sino que ciertas portadoras son moduladas con otro tipo de señales que sirven para facilitar el trabajo del receptor. Estas otras señales son:

- Las señales piloto, tanto de posición fija como variable, son las encargadas de llevar al receptor información del comportamiento del canal.
- Las señales de información del sistema, que son de posición fija, llevan parámetros que son necesarios en el receptor para poder realizar una correcta decodificación de los datos recibidos.

Debido a que cada portadora lleva información de distintos tipos, se hace necesario realizar una separación entre los distintos tipos de información; este es el objetivo del demultiplexor de trama. Este bloque mostrado en la Fig. 5.18 se encarga de sacar por tres canales distintos los datos, la información del sistema y las señales piloto. En la siguiente figura se observa dicha separación de canales:

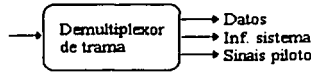


Fig.5.18 Demultiplexor de trama

Cabe destacar que en el caso de las señales piloto también saca la posición de la portadora que modula cada señal (es decir, la frecuencia de cada señal piloto), lo cual es muy útil para el trabajo del igualador.

Otro aspecto importante de este bloque es que tiene que haber una buena sincronización para realizar un buen desentramado. Esto se hace en un principio con las portadoras de las señales piloto, ya que éstas fueron transmitidas con una potencia mayor que el resto. Además, como el patrón que siguen estas portadoras al ser moduladas es conocido, el trabajo de sincronización se ve facilitado.

5.4.5 Decodificador de información del sistema

La información del sistema es importante para un correcto funcionamiento del receptor. De su decodificación depende que el receptor elija de forma adecuada los parámetros para realizar una correcta decodificación de los datos.

Este bloque se encargará de la decodificación de la información transportada por las portadoras asignadas a tal fin. Las muestras correspondientes a estas portadoras se encuentran a la entrada de este elemento a partir de la entrega realizada por el demultiplexor de trama.

En el proceso de decodificación de la información del sistema podemos distinguir tres etapas diferenciadas:

- En la primera etapa se intentará deshacer la modulación DBPSK obteniendo una secuencia que puede no estar libre de errores, por lo que en el transmisor se empleó un código bloque para su corrección.
- Por consiguiente la segunda etapa consistirá en pasar los bits decididos por el decodificador con el código BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem, es uno de los más importantes clases de códigos de bloques lineales).
- La última etapa consistirá en obtener los valores de los parámetros de transmisión en función de los bits obtenidos en la etapa anterior.

La Fig.5.19 muestra estas tres etapas:

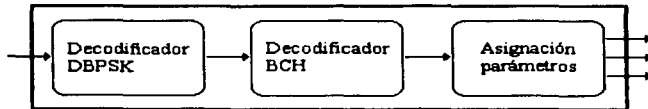


Fig. 5.19 Proceso de decodificación

La modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) se emplea para determinar los valores correspondientes a las portadoras encargadas de transportar la información del sistema. Para obtener esta información es necesario tomar un bit de cada supersímbolo de una trama OFDM. Para realizar la demodulación es necesario tener guardados en memoria los valores de las muestras correspondientes a los supersímbolos anteriores (17 para el modo 2K y 68 para el modo 8K).

El siguiente elemento hace uso de la redundancia añadida en transmisión para la protección contra errores. El código sistemático BCH (67,53,t=2) proporciona esta protección.

De no detectarse ningún error, se informa a aquellos elementos del receptor que lo necesiten de los parámetros recibidos.

5.4.6 Desentrelizador de información del sistema

Este bloque se encarga de introducir un cierto desorden en los bytes de entrada de forma que si hubiese una secuencia de bytes erróneos en recepción, al pasar por el elemento inverso a éste, esos bytes quedarían dispersos, con lo cual, el código Reed-Solomon podría corregirlos.

Como se vio con anterioridad el demultiplexor de trama tiene tres salidas: las señales piloto, que son usadas por el igualador de canal; la información del sistema, que ya ha sido tratada en el bloque anterior y los datos, que son los que se van a tratar en este bloque y los siguientes.

A la entrada del desentrelizador de símbolos, los datos son valores complejos y en este bloque se va a implementar la función inversa de la segunda parte del entrelazador interno implementado en transmisión. Como se habla dicho, en el entrelazador interno, las unidades de trabajo son grupos de bits que conforman los símbolos.

En el transmisor lo que se hacía era alejar los símbolos correlacionados entre sí para que, en el caso de que hubiese un desvanecimiento, no se viesen afectados todos a la vez y así ayudar a la recuperación de la información. Por lo tanto aquí, en el desentrelizador de símbolo, lo que se hará será deshacer lo barajado en el transmisor (agrupar las portadoras correlacionadas).

Es importante señalar que, en este bloque, no se toma ninguna decisión sobre los valores recibidos, simplemente se reubicán los datos.

Para realizar su tarea, este bloque usa la misma permutación que la empleada por el transmisor. Así, a la entrada se tienen 1512 valores complejos (en el modo 2K) o 6048 (en el modo 8K), y después de aplicar la permutación se obtienen a la salida la misma cantidad de valores complejos. Se consigue así que los símbolos recuperen la ordenación primitiva que tendrían de no haber entrelazador de símbolo.

La Fig.5.20 da una idea de como funciona la permutación:

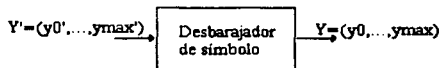


Fig.5.20 Desentrelizador de símbolos

5.4.7 Decodificador de Canal

El decodificador de canal es el bloque del que van a depender en mayor medida las prestaciones del receptor. En transmisión el codificador de canal está formado por el código convolucional, el entrelazador interno y la constelación.

En teoría el decodificador de canal debería de ser el bloque que deshiciera las acciones realizadas por los bloques anteriormente mencionados del transmisor, sólo que ahora hay que tomar decisiones sobre la señal recibida. Como en el bloque anterior (el desentrelizador de símbolo) no se han tomado estas decisiones, se tienen que tomar ahora. El estándar da libertad para la realización del receptor, y es en este bloque donde se puede hacer uso de esta libertad para crear receptores con diferentes esquemas.

Esta parte del receptor es muy amplia y densa por lo que no tiene gran interés para esta introducción a COFDM considerar las distintas Implementaciones, los problemas que se presentan en su realización, etc. Con lo dicho se da por zanjada la explicación de este bloque. Se puede obtener más información sobre esta parte en cualquier libro que hable sobre OFDM.

5.4.8 Desentrelazador externo

Después de las decisiones tomadas en el decodificador de canal lo que obtenemos es una secuencia binaria que no está libre de errores de transmisión. El estándar pone como límite superior aceptable a la salida del bloque anterior una tasa de errores de 2×10^{-4} . Esta tasa de errores es muy elevada para esta aplicación, por lo que se introduce el entrelazador externo en el transmisor y el equivalente en el receptor para así poder bajar la tasa de errores hasta un límite que hace que se pueda considerar que se ha realizado una comunicación libre de errores.

La misión que tiene el desentrelazador externo es la de limitar las longitudes de las posibles ráfagas de errores que se puedan producir, para que los errores estén lo más dispersos posible. Con esto se logra que su detección y corrección sea más fácil de realizar.

Este elemento trabaja a nivel de bytes ya que el código externo está diseñado para dar protección a estas unidades. El funcionamiento de este bloque es el siguiente:

- Los bytes son paralelizados por el conmutador de entrada. El conmutador funciona de forma cíclica: cada vez que dirige un byte por una rama, conmuta a la siguiente posición.
- A la salida hay otro conmutador que siempre está apuntando a la misma rama que el conmutador de entrada y que recoge un byte de la cola FIFO situada en esa rama.
- Las colas FIFO que forman parte de cada rama disminuyen su número de registros a medida que vamos aumentando el número de la rama. Así, llegamos a que la última rama no tiene ningún registro.
- Cada registro tiene una capacidad de 17 bytes, lo cual concuerda con el sistema equivalente en transmisión.

Las características explicadas anteriormente se ven representadas gráficamente en la siguiente Fig. 5.21:

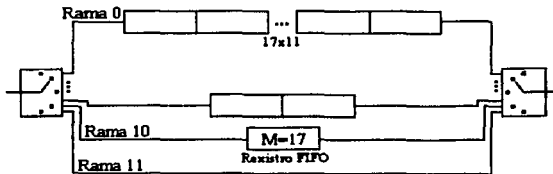


Fig. 5.21 Desentrelazador externo.

La única característica que diferencia el entrelazador en transmisión del desentrelazador en recepción es que los registros crecen de forma contraria, lo cual tiene como objetivo compensar los retardos introducidos en transmisión, de forma que todos los bytes sufran el mismo retardo.

Al igual que en el entrelazador, al principio hay un estado transitorio mientras los registros no se llenan con bytes y esto ha de ser tenido en cuenta para eliminar los bytes que sobran.

5.4.9 Decodificador Reed-Solomon

En el bloque anterior se limitaba la longitud de las ráfagas de errores para facilitar la detección y corrección de los mismos. El encargado de hacer esa detección y corrección es el decodificador Reed-Solomon.

El código empleado en transmisión es el código sistemático RS(204,188,t=8), que tiene la capacidad de corregir hasta ocho bytes erróneos de los 204 bytes que constituyen la entrada en una ejecución, ya que este código posee una distancia mínima de $2t+1$. Como se ha podido observar la unidad de trabajo de este decodificador es el byte.

Una vez que se conocen los bytes erróneos que hay en cada trama de entrada a este bloque, éstos pueden ser corregidos. Al tener la trama libre de errores el bloque da como salida los primeros 188 bytes, ya que este codificador es sistemático, lo que implica que toda la redundancia se introduce en los últimos 16 bytes (el resto es información).

La salida de este bloque tiene la longitud y estructura de una trama MPEG-2. Esto puede ser observado en la siguiente Fig.5.22.

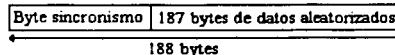


Fig.5.22 Salida del bloque Reed-Solomon

5.4.10 Desaleatorizador de Energía

El desaleatorizador de energía es el último bloque de la cadena receptora. Es el homólogo del aleatorizador de energía implementado en el transmisor y, por lo tanto, tiene las mismas características físicas que éste.

La intención del aleatorizador en el transmisor era impedir que hubiese cierta predilección en enviar unos símbolos frente a otros. La misión de este bloque en el receptor es la de recomponer la secuencia original y conseguir así los datos que constituirían las tramas MPEG-2.

Para realizar el aleatorizador se usaba la función OR-exclusiva; por lo tanto, en el desaleatorizador hemos de usar la misma función y la misma secuencia pseudoaleatoria. Todas las consideraciones que se tuvieron en cuenta en el caso del aleatorizador son aplicables aquí.

A la salida de este bloque debemos de obtener una secuencia binaria que debería de coincidir con las tramas MPEG-2 que se usaron a la entrada del transmisor, de esta forma cumplimos con el objetivo de todo sistema de transmisión: la información a la entrada del transmisor ha de ser la misma que la información obtenida a la salida del receptor.

5.5 Sistemas de recepción en TV Digital

Todos los sistemas cuentan con virtudes y defectos que no los descalifican pero que si deben ser probadas en condiciones específicas para determinar cuál puede ser la más conveniente para un país u otro. No quiere decir esto, que cada país busque la opción para sí mismo y que en este proceso vuelvan a suceder cosas como las que derivaron, para países como Argentina y Brasil, en un sistema de televisión analógico Pal-M que no se encuentra en otros países, al menos en el continente americano. Analizando los sistemas de recepción se tiene:

- Que el sistema ATSC técnicamente debido a su baja robustez a multitrayectoria y a su baja flexibilidad cubre de manera mínima las necesidades de preservación del servicio de radiodifusión de sonidos e imágenes. ATSC, no ofrece soluciones finales para aplicaciones de

transmisión a receptores móviles. Por otro lado, concentra sus virtudes en la transmisión terrestre a largas distancias y el desarrollo avanzado para HDTV en transmisiones fijas

- Los sistemas DVB-T e ISDB-T tienen condiciones de atender tanto las exigencias de mejorar o, por lo menos, replicar la recepción de los canales actuales analógicos, permitiendo el transporte de señales HDTV (*payload* superior a 18 Mbps), además de agregar nuevas aplicaciones para los radiodifusores. Ofrece soluciones probadas y utilizadas en muchos países del Viejo Continente, entre las cuales se incluyen los desarrollos para cable y televisión satelital, junto con el lanzamiento de MHP (*Multimedia Home Platform*), diseñada para atender la convergencia entre teledifusión, telecomunicaciones y tecnologías informáticas, y poder ofrecer las posibilidades de la televisión interactiva y el comercio electrónico.
- El sistema ISDB-T es significativamente superior DVB-T tanto en lo que concierne a la inmunidad al ruido impulsivo, como también en el desempeño para recepción móvil, importante para asegurar la competitividad del servicio de radiodifusión de sonidos e imágenes en el futuro, además de ofrecer mayor flexibilidad de aplicaciones. No ofrece soluciones para aplicaciones de televisión por cable. A pesar de la superioridad técnica y de la flexibilidad del sistema ISDB-T, es necesario considerar otros aspectos como, el impacto que la adopción de cada sistema tendrá sobre la industria nacional, las condiciones y facilidades de implementación de cada sistema, los plazos para su disponibilidad comercial, el precio de los receptores para el consumidor, la expectativa de caída de esos precios, de modo que posibilite el acceso más rápido a todas las franjas de la población.

Cabe anotar que en el caso de México, que comparte una extensa frontera con Estados Unidos, no sólo geográfica sino también comercial, se está estudiando la posibilidad de unir los dos sistemas para dar por terminado el debate acerca del desempeño de cada uno de ellos. Esta decisión, le permitiría compartir las ventajas de uno y otro, además de dar una pronta solución al asunto, decisión que ahorraría tiempo en la implementación de un sistema de televisión digital para este país, y que inevitablemente, forzaría una pronta solución al debate en los países centroamericanos.

Situación en México

Para dar ejemplo de todo esto, se explica lo sucedido en México cuando, se pidió a la empresa Sinclair, evalúe cuál de los dos sistemas sería el más adecuado para este país (el país contiguo, E.U.A., utiliza la ATSC). Así, en septiembre de 1999, Sinclair realizó pruebas comparativas entre VSB y COFDM, sin buscar un resultado premeditado. Finalmente rechazó la aplicación de ATSC a favor de la DVB-T. Esto se respondió con una batalla total entre el foro ATSC y DVB-T. En realidad, como ya hemos visto antes, Sinclair optó por la recepción móvil, un factor importante para un país donde la movilidad es total, cosa que la ATSC no puede ofrecer. Pero a raíz de esto, la ATSC publicó un informe desacreditando las pruebas realizadas por la empresa Sinclair y fue la propia DVB quien respondió y casi ridiculizó la ATSC.

Del largo informe que la DVB remitió a este asunto, se resumen algunas de las partes más importantes:

- **Cobertura:** Aun en condiciones extremas de multitrayectorias se espera que la cobertura analógica existente pueda ser replicada con la DVB-T. En Gran Bretaña niveles de potencia 20 dB menores que los de los servicios analógicos permiten la replicación de la cobertura existente de los servicios analógicos (menor potencia es igual a menor coste).
- **Problemas del VSB:** Ha quedado claro que el sistema VSB nunca fue diseñado para otro tipo de recepción que no fuese la fija. El principal objetivo de este sistema era permitir la señal HDTV en ambientes domésticos. Esta debería ser la razón para que los métodos de transmisión usados fuesen basados en las técnicas simples de transporte existentes. El ATSC mantiene que está a la espera de los fabricantes de receptores para solucionar este problema (aun no se ha encontrado ninguna solución). Recientes afirmaciones de la ATSC demuestran que no están en desacuerdo con los resultados de Sinclair pero señalan que el problema reside en la utilización de primitivos receptores y con nuevos aparatos maravillosos se solventará el problema. Esto implica un encarecimiento del producto, casi inalcanzable para la mayoría de los actuales usuarios.

En definitiva, el formato DVB general, en particular el DVB-T para transmisión terrestre, hoy por hoy, aventaja la ATSC. Los problemas del ATSC son bastantes en contra de su único punto a favor: HDTV. Claro está que la DVB-T también puede emitir la HDTV, aunque no en nativo. Lo que la DVB-T hace es emitir un único programa en dos formatos: SDTV y HDTV, de tal manera que si una recepción falla (la HDTV) como mínimo se puede visualizar en SDTV (esto es codificación jerárquica), y es el meollo de todo el problema. E.U.A. no cambiará hacia la DVB-T, ya que la implantación de la ATSC ha sido abrumadora, y esto implica un gran gasto económico adicional. Pero lo que sí que es posible es que poco a poco la ATSC se aproxime más a las características de la DVB-T.

La DVB comprendió que los sistemas de transmisión de DTV debían operar con las actuales instalaciones de antena de recepción (es decir, el usuario sólo debe adquirir un decodificador, en E.U.A. los usuarios deben adquirir además una antena especial). El esquema de modulación en COFDM se escogió por su condición ideal, con un coste efectivo y como fuerte alternativa a los sistemas de transmisión primitivos. Al ser un miembro de la DVB, la DVB-T funciona correctamente con las otras aplicaciones usadas por otras transmisiones DVB: satélite y cable. Además, la DVB-T permite la emisión a escala nacional mediante una única frecuencia (la ATSC no puede permitir el doble de una frecuencia).

5.5.1 Diferencias DVB-T / ATSC

Parámetro	ATSC	DVB-T
Perfil del consumidor	Alto	Normal
Transmisión	8-VSB	COFDM
Red de transmisores	No costeados	Costeados
Robustez de las multitrayectorias	No	Sí
Antena de recepción	Fija (tejado)	Fija y móvil (omnidireccional)
Recepción móvil	No	Sí
Resolución primordial	HDTV	SDTV
Audio	Dolby Digital	MPEG Caps 2 / Dolby Digital
Possibilidades multimedia (Internet, audio, datos, etc)	No	Sí

Tabla 5.2 Característica ATSC/DVB-T

De las Tablas 5.2, 5.3 y 5.4 la primera impresión es preferir ATSC, principalmente porque es un formato que acepta la HDTV (televisión de alta definición) como resolución primordial, esto es, nativa. En realidad este fue el punto de mayor peso para E.U.A. en escoger tal estándar. Pero, a parte de este gran beneficio, existen en la ATSC muchos puntos en contra.

El primero es la baja robustez (casi nula) de las multitrayectorias. Este factor mide la calidad de recepción de un canal cualquiera en lugares donde existen muchos rebotes de la única frecuencia de emisión. Por ejemplo, si nos situamos en medio de los altos rascacielos de una ciudad, la señal única va rebotando entre éstos y, lo más seguro, es que en vez de recibir una única señal recibiremos una cantidad indigente de la misma frecuencia pero retardada milésimas de segundo, ya que la original irá rebotando entre los diferentes edificios. Esto, en la ATSC, provoca una recepción muy pobre, lo que obliga a colocar las antenas en los sitios más "limpios". Dicho de otra manera, es casi imposible recibir señal de calidad a pie de calle rodeado de diferentes rascacielos. Esto no es problema para la DVB-T. Debemos recordar que una señal digital, mientras su recepción sea buena, la calidad de recepción será muy similar por no decir exacta que la original, mientras que en emisión analógica, la calidad de la recepción depende de muchos factores, lo que hace que no todas las recepciones obtengan la misma calidad, pero que la recepción analógica es mucho más permisiva en cuanto a errores de recepción, mientras que una mala recepción digital implica la nulidad del programa.

Otro problema importante para la ATSC es su dificultad de recepción de señal en "movimiento". Parece un tema poco importante, pero por ejemplo hace imposible la recepción de señal en autos, en el tren, etc.

Si lo miramos más prácticamente, y este es la principal objeción por parte de los organismos de defensa gubernamentales de los E.U.A., en caso de emergencia es imposible lanzar mensajes de emergencia a receptores móviles. Por ejemplo: ocurre un apagón eléctrico en una ciudad; y las autoridades quieren lanzar un mensaje de explicación y así disminuir el pánico de todos los habitantes. Con la ATSC esto no será posible, pues al no existir corriente, por mucho que tengamos un TV portátil a pilas (esos pequeños con pantalla LCD) no seremos capaces de ver ni oír nada, obligando el uso de la radio (tal como sucedía a mediados del siglo XX). Con la DVB-T todo esto es posible, ya que podemos ver la televisión digital mediante un pequeño TV con una antena telescópica normal.

Más problemas para la ATSC: no puede enviar nada más que la imagen y el sonido (Dolby Digital). Para empezar, no puede enviar Internet, ni datos, ni nada más que el programa televisivo. Claro que puede utilizar los canales de audio envolvente adicionales del Dolby Digital algún tipo de información, pero esto impide el uso del audio multicanal, a la vez que obliga a los usuarios utilizar decodificadores específicos que resultan más caros.

Características	Descripción del estándar requerido	ATSC	DVB / UK DTG
4:3, 16:9 y 16:9 avanzado	Compresión de vídeo digital con definición estándar	A/53	ETR 154
16:9 de alta definición	Compresión de vídeo digital con alta definición	A/53	ETR 154 (HD no aplica en Reino Unido)

Tabla 5.3 Estándares ATSC y DVB en relación a la calidad de imagen

Características	Descripción del estándar requerido	ATSC	DVB / UK DTG
Básica	Codificación de canal y modulación	A/53	ETS 300 744
	Mega Frame para redes de frecuencia única (SFN)	-	TS 101 191 (no aplicable en Inglaterra)
	Información de servicio/programa para soportar EPG	A/65	ETS 300 468
	Subtitulado	A/53	ETS 300 743
TV de pago	Método de acceso condicional para codificar el AV stream	Bajo discusión	ETR 289
	Interfaz para añadir acceso condicional a un receptor genérico	Bajo discusión	EN 50221
	Encriptación simultánea que soporte una población receptora con múltiples sistemas CA	Bajo discusión	TS 101 197
Servicios interactivos básicos	Protocolos de difusión de datos para la transmisión de datos genéricos sobre redes de difusión	Bajo discusión	EN 301 192
	Protocolos de red independientes para protocolos de servicios interactivos para la transmisión de datos genéricos sobre redes bidireccionales como la RTC	Bajo discusión	ETS 300 802
	Canal de interacción a través de RTC o RDSI	Bajo discusión	ETS 300 801
	Aplicaciones interactivas básicas y codificación de objetos multimedia e hipermedia	Bajo discusión	MHEG-5 (Bajo discusión en DVB)
Servicios interactivos ampliados	API	Bajo discusión	Bajo discusión

Tabla 5.4 Estándares ATSC y DVB en relación los servicios

5.5.2 Sistemas de recepción televisión digital

Las transmisiones de televisión digital, al igual que las de televisión analógica convencional, pueden llegar al receptor del usuario principalmente por tres medios: mediante señales emitidas por transmisores ubicados en la tierra (televisión terrenal), por transmisores ubicados en satélites (televisión directa por satélite) o por cables físicos que pueden ser coaxiales o de fibra óptica (televisión por cable). Estos tipos de transmisión son los mismos, tanto para la televisión analógica convencional como para la televisión digital

Los tres sistemas de recepción (satélite, cable, terrestre) tienen en común la señal fuente (MPEG-2), así como algunas partes de decodificación, tales como la protección contra errores de código de bloque empleado (Reed Solomon 204,188), algoritmo para realizar la dispersión de energía y entrelazado (interleaving). Sin embargo los sistemas de demodulación empleados son dependientes del medio de transmisión.

En función del origen de la señal, el tipo de demodulador de las señales de televisión digital son diferentes:

- Recepción Satelital: demodulación QPSK
- Recepción Terrestre:
 - Demodulación 8-VSB (8 levels Vestigial Side Band) que sería banda lateral residual modulada a 8 niveles.
 - Demodulación COFDM.
- Recepción por cable:
 - Demodulación empleado (QAM): antepone la eficiencia espectral a la robustez frente al ruido, incluyendo la información tanto en la amplitud como en la fase de la portadora.

En forma general se tienen los siguientes sistemas:

- Recepción televisión digital por cable
- Recepción televisión digital por microondas
- Recepción televisión digital por satélite
- Recepción televisión digital terrestre

Dependiendo del medio se tienen diferentes sistemas de recepción de televisión digital, en las Fig. 5.23 a la 5.27 se muestra una representación de tales sistemas.

5.5.3 Sistema de televisión digital por cable

Un sistema de cable se compone, en su forma más simple, de dos equipos: uno en la cabecera, que hace de interfaz entre la red de cable y otras redes, como Internet; y otro en la casa del abonado. Las comunicaciones entre ambos equipos se realizan por dos canales independientes: el canal descendente (downstream), de la cabecera al abonado; y el canal ascendente (upstream) o de retorno, del abonado a la cabecera. El canal descendente se caracteriza por tratarse de un canal poco ruidoso en general y del tipo broadcast (uno a muchos). El equipo de cabecera "habla", y los equipos receptores "escuchan". Si el mensaje va dirigido a un equipo concreto, éste lo adquiere mientras que el resto lo ignora. Las cabeceras de emisión de este sistema de televisión también pueden recibir la señal del satélite y utilizarla para su difusión por cable. Este esquema, mostrado en la Fig. 5.23 y Fig. 5.24, sería también posible para la difusión de TV terrenal o difusión MMDS.

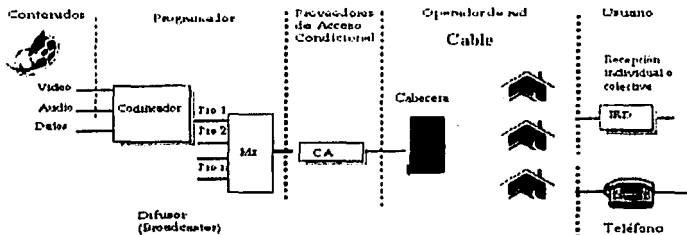


Fig. 5.23 DTV por cable.

Ventajas de la recepción de cable:

- El cable, además de TV, ofrece otros servicios interactivos, multimedia e, incluso, telefonía básica.
- Tecnológicamente es mucho más potente, su reparación es inmediata y su mantenimiento no muy problemático.
- El usuario no tiene que pagar el cableado del hogar.
- Su vida útil es larga (más de 25 años).
- Las redes de cable se extenderán primero en los grandes núcleos urbanos, donde integrarán todos los servicios presentes y futuros de telecomunicaciones. De allí irán extendiéndose progresivamente para alcanzar y conectar entre sí la mayoría de poblaciones.

Con una distribución por cable, extendería el campo de aplicación de la televisión hacia un entorno de interactividad de incalculable alcance. Si las imágenes llegan por cable, estas pueden venir de un centro de difusión de programas, o de una base de datos de imágenes o de secuencias de imágenes, o directamente de películas. De este modo, con la televisión y la distribución por cable, se entra en el mundo de la Interactividad, en donde las imágenes son únicamente un tipo más de información de los que el sistema puede manejar. A la hora de pensar en un nuevo sistema de televisión, puede resultar mucho más atractivo al telespectador el aporte de la interactividad y el uso para otros fines de su nuevo receptor de televisión, que el disponer simplemente de imágenes de mayor calidad. Un resultado que no se debe olvidar es que el telespectador le da realmente muy poca importancia a la calidad de las imágenes, cuando estas tienen un contenido que le es atractivo.

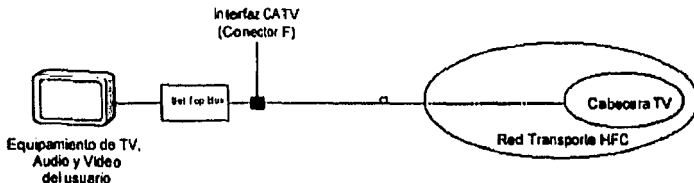


Fig. 5.24 DTV por cable

5.5.4 Sistema de televisión digital por microondas

El MMDS (Microwave Multipoint Distribution System) constituye una alternativa viable al cable, en especial en zonas de baja densidad de población donde el costo técnico y económico lo hace poco interesante; utiliza una red de difusión similar a las utilizadas en UHF y VHF tradicionalmente pero la frecuencia de trabajo es de 262.5 GHz, si bien algunos utilizan la banda Ku (10.7 a 13 GHz), que es la usada mayoritariamente en Europa para transmisión por satélite.

Debido a que las antenas de recepción de abonados son mucho menores, se ha pensado en utilizar como una alternativa al satélite. Este enfoque tiene su punto débil en la cobertura y calidad de la señal. Las situaciones particulares de la orografía de cada terreno han de tenerse en cuenta a la hora de instalarlo como sustituto del satélite. Se describe este sistema mediante la Fig. 5.25.

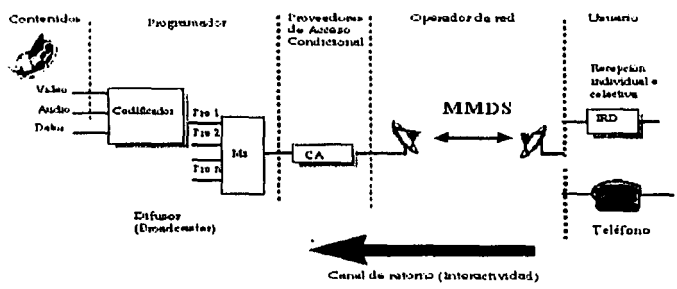


Fig. 5.26 DTV por microondas.

A la hora de instalar un sistema MMDS en una comunidad que posea una red de cable consolidada, se establece una competencia desde el primer momento, ya que precisamente nació como sustituto de este. La competencia con un sistema que posee un número de abonados importante exige un esfuerzo importante.

La programación se base en gran medida en los canales de satélite. Si se desea restringir el acceso hay que añadir un equipo de decodificación en el receptor.

5.5.5 Sistema de televisión digital por satélite

Se describe mediante la Fig. 5.26 con las siguientes ventajas la recepción por satélite:

- La más importante es su zona de cobertura (todo el territorio).
- El despliegue de la red es inmediato y es un sistema mucho más barato para el operador.
- Permite la introducción de información de servicio de una forma flexible para todas las configuraciones y componentes de servicio (audio, vídeo y datos).
- Sin embargo, el satélite no permite la interactividad, ni telefonía, ni acceso multimedia, sólo TV. Además, requiere la instalación de una antena parabólica con sus consiguientes equipos, costosos para el usuario. Su vida útil se sitúa entorno a los 10 años. Exige un mantenimiento periódico para corregir derivos, que suponen un gasto de combustible. El seguimiento y monitoreo de los sistemas del satélite constituyen un gasto importante. Contrariamente, sobre

la red de cable se puede actuar inmediatamente y su mantenimiento no es tan problemático si se ha construido bien desde el principio.

- De momento, los sistemas de retorno vía satélite son muy caros y solo estarían justificados en el caso de grandes empresas y comunidades grandes de usuarios.
- Pero la evolución en un futuro inmediato está encaminada a que el satélite de servicio de manera rápida a aquellas zonas de difícil acceso o a aquellas que no hayan sido cubiertas todavía por el cable.

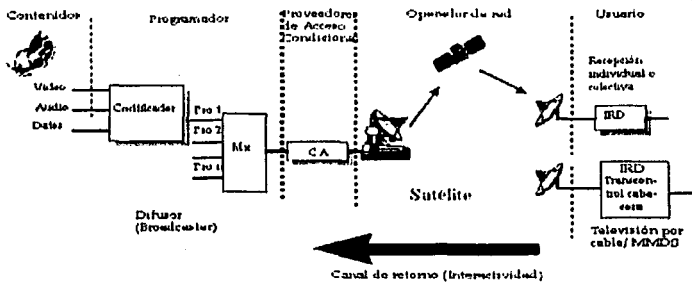


Fig. 5.26 DTV por satélite.

5.5.6 Sistema de televisión digital terrestre

Los datos comprimidos de video, audio y los datos complementarios se multiplexan formando una sola sucesión de bits. Esta sucesión de bits modula una señal que se transmite por radiodifusión terrestre. Se describe este sistema en la Fig. 5.27.

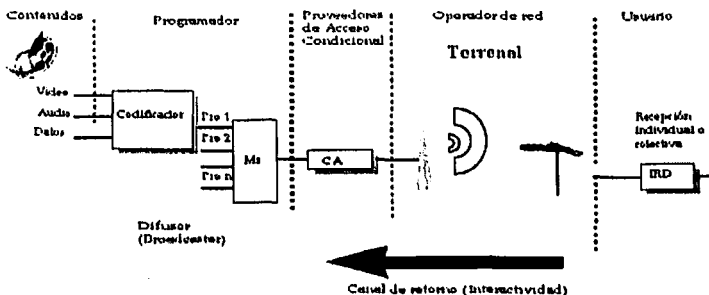


Fig. 5.27 DTV terrestre.

Una de las grandes aportaciones de la TV digital terrena va a ser la posibilidad de establecer redes de frecuencia única (SFN), de modo que todos los transmisores situados lo largo de un territorio para transmitir un programa determinado lo hagan utilizando la misma frecuencia. Al menos teóricamente será posible cubrir todo el país utilizando un solo canal de UHF por programa.

5.5.7 Canal de retorno

Surge el concepto de canal de retorno, en las redes de difusión de televisión, por que inicialmente eran redes unidireccionales, y con el tiempo, la necesidad de implementar servicios interactivos ha obligado a los operadores a añadir bidireccionalidad a sus emisiones. El canal de retorno es una ventaja comparativa de DVB contra el ATSC. Este canal sirve para transportar los datos desde el usuario, haciendo la televisión interactiva, a la estación difusora.

Los antecedentes del canal de retorno surgen como labores de gestión de red o gestión del servicio de pay-per view en las redes de cable que requieran poco ancho de banda.

El canal de retorno por cable, se trata de un canal de comunicaciones muy problemático debido a que la parte coaxial de la red HFC se comporta como una gran antena que recoge las señales indeseadas que penetran, en su mayor parte, en los hogares de los abonados y en la red de acometida, y que por efecto embudo se acumulan en el nodo óptico. Los mayores problemas los crean el ruido y las interferencias, sobretodo en la parte más baja del espectro ascendente entre 5 y 15-20 MHz.

El canal de retorno ocupa en las redes HFC el espectro comprendido entre 5 y 55 MHz. Este ancho de banda lo comparten todos los hogares servidos por un nodo óptico. Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías o multiplexados a distintas frecuencias y/o longitudes de onda. Una señal generada por el equipo terminal de un abonado recorre la red de distribución en sentido ascendente, pasando por amplificadores bidireccionales, hasta llegar al nodo óptico. Allí convergen las señales de retorno de todos los abonados, que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno, el cual las transmite hacia la cabecera.

Existen diversas alternativas empleadas para implementar el canal de retorno:

- **Retorno via red telefónica:** La solución que emplea la línea telefónica para transportar la señal de retorno junto con la red de difusión de televisión (terrestre, satélite o cable) unidireccional para el transporte de la señal descendente, se denomina TRI (Telephone Return Interface). Esta solución, sin embargo, no es del todo adecuada, sobretodo en aplicaciones de comercio electrónico, ya que hay que realizar una llamada y esta es lenta, por lo que se pierde el momento de la oportunidad.
- **Retorno via cable módem:** En las redes de cable bidireccionales, la transmisión de la señal a los usuarios se hace a través de un canal de televisión y el retorno a través de otro canal.
- **Otras opciones:** El competidor más directo del cable es ADSL, el cual permite tener sobre una línea telefónica convencional un canal de acceso descendente de hasta 8Mbps y un canal ascendente de hasta 800Kbps. ADSL no es un medio compartido como las redes de cable, por lo que es seguro y su funcionamiento no depende del resto de los usuarios conectados. La calidad del servicio depende de las líneas telefónicas, del operador de telecomunicaciones.

Otras posibles soluciones puede ser el empleo de una red inalámbrica del tipo GSM o UMTS, cuya ventaja estriba en que no es necesario instalar ningún tipo de cable hasta el usuario y además permite la utilización de las centrales base de los operadores móviles existentes.

5.5.8 Recepción móvil

La recepción móvil genera puntos de diferencia con el ATSC, pues no van en ese sentido como el DVB. Sólo los broadcasters terrestres son los que pueden proveer la movilidad y para eso deben tener robustez en el multicamino, "algo que DVB posee y en cambio ATSC ha demostrado que no lo pueden lograr".

Proyecto ACTS

Existe el proyecto Europeo ACTS Motivate (Mobile Television and Innovative Receivers), orientado a la optimización de los parámetros de red y la tecnología de los terminales de usuario para la recepción móvil de señales DVB-T, así como a la generación de guías de implementación (con datos como los modos de operación DVB-T más aconsejables, recomendaciones de planificación, etc.) de servicios móviles y portátiles de televisión digital terrestre.

Actualmente hay una red experimental en el norte de Alemania formada por unos cuarenta transmisores que dará servicio de difusión de vídeo, audio y datos (con información como mapas de carreteras, accidentes ocurridos, etc.) a receptores instalados en vehículos.

Cabe destacar por otra parte el ejemplo de Singapur que recientemente ha seleccionado el estándar DVB-T como su estándar de transmisión de vídeo digital terrestre debido a su robustez en la recepción móvil. Actualmente hay redes piloto que ofrecen servicios de difusión en el metro de la ciudad y en la línea de autobuses.

Proyecto MCP

MCP (Multimedia Car Platform), este proyecto pretende integrar en una sola plataforma los sistemas de difusión digitales, planteándose utilizar inicialmente las tecnologías DVB-T y DAB-T (Digital Audio Broadcasting-Terrestrial) y los sistemas de comunicaciones móviles.

El objetivo final es estandarizar un sistema único multimedia interactivo que permita, a nivel europeo, el desarrollo de varias redes MCP de forma que un vehículo pueda recorrer diferentes países recibiendo servicios de entretenimiento (películas, informativos, música), de información (mapas de carreteras y calles actualizados, información de accidentes de tráfico, localización de gasolineras, hoteles, parkings, etc., e incluso información particular introducida por ejemplo por fabricantes de automóviles como un servicio de valor añadido). Además habrá servicios interactivos aprovechando el canal de retorno (reserva de hoteles, acceso a internet, etc.).

5.5.9 Sistemas de acceso

Entre las técnicas de acceso multiplexadas se tienen:

FDMA:

- Acceso múltiple por división en frecuencia.
- Se asigna parte del ancho de banda a cada portadora.

TDMA:

- Acceso múltiple por división en el tiempo.
- Se asigna todo el ancho de banda a cada portadora durante un espacio de tiempo limitado llamado slot.
- Los slots forman una estructura periódica llamada trama de TDMA.

CDMA:

- Acceso múltiple por división de código.
- Las portadoras pueden transmitir continuamente ocupando todo el ancho de banda.
- Técnicas de espectro ensanchado evitan las interferencias.

5.5.9.1 Sistemas de acceso condicional

El Acceso Condicional (AC) es un sistema utilizado para el cifrado y descifrado de señales que permiten denegar el acceso a programas a los cuales el usuario no tiene derecho de acceso por no haber pagado los cánones correspondientes a la plataforma digital (ejemplos son Viaccess, Nagravision, Videoguard, Eurocrypt).

El AC es uno de los aspectos clave a la hora de decidir el desarrollo comercial de la TV digital. Por el carácter estratégico que presenta para los operadores, el DVB ha mantenido un foro de discusión con los

agentes interesados, sin que hasta el momento haya entrado en decidir que esquema de AC debe ser el estándar. Sus trabajos se han centrado en definir un interfaz común dotado de ranuras para la conexión simultánea de varios módulos de acceso condicional (modalidad Multicrypt) y en elaborar las normas para un esquema Simulcrypt.

El sistema de acceso condicional incluye los siguientes elementos:

- **Algoritmo de cifrado del programa o servicio específico;** es propio de cada proveedor concreto, por lo que el DVB no ha especificado cómo ha de ser.
- **Algoritmo de aleatorización de datos;** este es un aspecto muy importante a la hora permitir que varios proveedores den servicio a un mismo abonado, por lo que el DVB lo ha normalizado, bajo el nombre de algoritmo de Aleatorización Común.
- **Sistema de Gestión de Abonado (SMS,** por sus siglas en inglés), que controla los datos sobre los abonados a un determinado programa o servicio; es propio de cada proveedor, por lo que el DVB no ha especificado cómo ha de ser.
- **Sistema de Autorización de Abonado (SAS,** por sus siglas en inglés), que genera las palabras clave para la descodificación y acceder a la información transmitida, es propio de cada proveedor concreto, por lo que el DVB no ha especificado cómo ha de ser.

Proceso de acceso condicional

El DVB acordó estandarizar tan sólo el algoritmo de aleatorización del flujo de datos y establecer la posibilidad de incorporar una Interfaz Común (CI, por sus siglas en inglés) en el IRD para que pudieran coexistir diferentes esquemas de acceso condicional simultáneamente como se ve en la Fig. 5.28. Es fundamental observar que las actividades del acceso condicional están dispersas entre el centro emisor (cifrado), un sistema distribuido (bases de datos, sistema de gestión y autenticación), y la residencia del usuario (módulo de acceso condicional del IRD).

El proceso que sigue el Acceso Condicional es el siguiente: un abonado se da de alta en un cierto evento, programa o servicio de una plataforma de TV digital; esta petición de alta se envía por el canal de retorno al centro de atención del proveedor del servicio, que utiliza SMS para darle de alta y tarificarle de acuerdo a su petición; el SAS proporciona los mensajes necesarios a la trama MPEG para permitir el acceso a este abonado autorizado, el cual debe disponer de una tarjeta inteligente donde se encuentra la verificación de la clave de acceso enviada por el sistema; estos datos de AC son extraídos del TS por el IRD y validados con la información contenida en la tarjeta del abonado, habilitando, en caso afirmativo, el funcionamiento del desaleatorizador para desenmascarar correctamente la señal MPEG codificada para que sea inteligible sobre el televisor.

Es fundamental observar que para que se pueda llevar a cabo este proceso que acabamos de describir, debemos tener en cuenta tres factores clave y a veces contrapuestos:

1. El IRD tiene un alto precio que supone un costo para el difusor. Sería necesario un sistema de AC que hiciese posible el retorno de las inversiones realizadas, en forma de subvenciones a los IRD necesarias para lanzar el negocio, mediante la fidelización de los abonados a su plataforma.
2. Desde el punto de vista del usuario, será conveniente que no necesite adquirir un nuevo IRD para poder disfrutar de los servicios de un nuevo operador, porque esta situación resultaría incómoda para él.
3. El IRD debe permitir a los distintos operadores adaptar sus sistemas de AC en condiciones técnicas favorables.

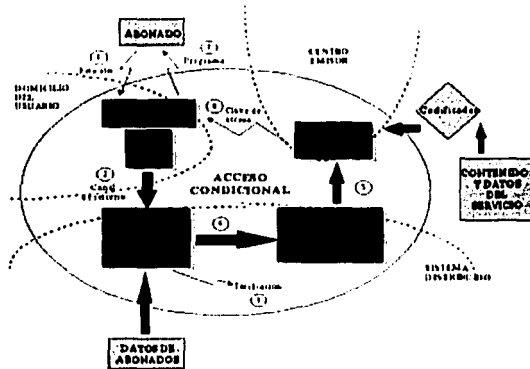


Fig. 5.28 Acceso condicional

5.5.9.2 Simulcrypt vs. Multicrypt

Teniendo en cuenta estos factores, DVB ha estudiado los siguientes posibles modelos tecnológicos básicos para la plataforma de acceso:

1. **Simulcrypt:** Esta solución supone que una vez instalado el IRD, los siguientes operadores deben negociar con el primero para poder acceder a los usuarios de éste, facilitando al primer operador la amortización del IRD instalado inicialmente, al poder traspasar parte del costo a los siguientes operadores que quieran participar de los IRDs subvencionados por él. La estrategia Simulcrypt permite que el IRD sea propietario, en el sentido de no estandarizar cómo debe ser la interconexión de los módulos de acceso condicional dentro del IRD. Este segundo tipo de IRD también utiliza el algoritmo común de aleatorización, permite la utilización de diferentes tipos de tarjetas inteligentes, siempre que se llegue previamente a acuerdos técnicos.

Simulcrypt "débil". Al tratarse de una plataforma propietaria se establecen acuerdos entre los diferentes sistemas de acceso condicional de forma que es posible utilizar un cierto número limitado de tarjetas con accesos condicionales válidos en esa plataforma. Los sistemas de acceso condicional "invitados" pueden pagar una cuota por el uso de la plataforma propietaria básica. Hasta el momento se han efectuado algunas pruebas para verificar la posibilidad de utilizar sistemas Simulcrypt con diferentes accesos condicionales, parece que con resultados exitosos. Este modelo requiere probablemente un organismo independiente que verifique la supuesta compatibilidad y vele por el mantenimiento de la libre competencia evitando prácticas abusivas.

Simulcrypt "fuerte". En este caso, el acuerdo entre diferentes plataformas se establece a partir de los contenidos, ya que todos los programas y servicios utilizarían el mismo sistema de acceso condicional, esto es, un mismo tipo de tarjeta. Este caso es el más problemático desde el punto de vista de la libre competencia al incorporar una integración vertical de actividades de difícil separación. Los principales problemas desde la tecnología se refieren al acceso a los datos de los sistemas de gestión de abonado y

sistemas de autorización de abonado por parte de la plataforma de posición dominante, y a la obligatoriedad de utilizar un solo tipo de acceso condicional.

2. **Interfaz Común (Multicrypt):** Esta solución busca la compatibilidad física y lógica del IRD básico; supone que el IRD se separe en dos bloques: el bloque encargado de las funciones comunes de recepción y demultiplexado y el bloque de las funciones exclusivas de cada sistema de acceso condicional particular, incluido en un módulo externo, interconectados mediante un bus PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association, estándar de expansion). El módulo externo puede desarrollarse y producirse a un bajo costo, de manera que el usuario puede abonarse a una nueva plataforma sin cambiar su IRD. Es un sistema abierto, que no requiere acuerdos entre operadores, salvo que exista uno que haya subvencionado el IRD. La estrategia Multicrypt consiste en utilizar el estándar de interfaz común en el IRD de forma que se puedan utilizar simultáneamente varias tarjetas inteligentes donde residen las claves para el acceso condicional y el posterior descrambling (desenmascaramiento) de la señal. Estas tarjetas pueden tener distintos esquemas de acceso condicional.

El usuario puede acceder a todos los servicios condicionales a través de una única plataforma, que por supuesto tiene varios fabricantes y por tanto competencia en la industria, en la que solo tiene que conectar la correspondiente tarjeta inteligente de acceso condicional, o varias de ellas si el IRD lo permite físicamente. El rango de sistemas de acceso condicional es ilimitado. No existen sistemas de este tipo disponibles comercialmente a día de hoy. Este modelo necesita, evidentemente, un proceso de homologación laborioso para verificar su compatibilidad. Sin embargo, la regulación asociada, salvo la de partida que obligase a este sistema, puede ser más sencilla al no requerir consideraciones tecnológicas, sino solamente de mercado. También facilita la entrada en el mercado de proveedores de contenidos procedentes, por ejemplo, de otros países

3. Existe otra estrategia más para el acceso condicional, pero ahora totalmente fuera del DVB. Consiste en utilizar una plataforma cerrada, en el sentido de no utilizar los estándares europeos. Este esquema se utiliza en la televisión digital por satélite en E.U.A., donde algunos de los operadores ni siquiera usan la codificación MPEG.

Como se ha mencionado estos son los modelos básicos, pero existen otros derivados de ellos. En el caso de la TV digital podría ser interesante favorecer la aparición de la interfaz común, a unque durante un tiempo el acceso condicional sólo fuera posible a través de la tarjeta del proveedor que ha hecho la inversión. Este modelo se suele denominar de "interfaz común (Multicrypt) controlada".

La Fig. 5.29 muestra de una forma gráfica los requerimientos que deben tener las tarjetas de acceso condicional para utilizar cada uno de los modelos anteriores.

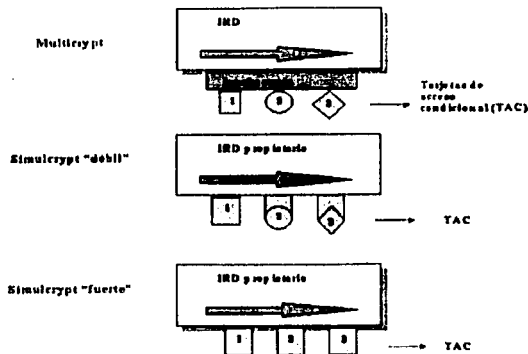


Fig. 5.29 Requerimientos de acceso condicional

5.5.9.3 Modulo de acceso condicional

Un módulo de acceso condicional (CAM, por sus siglas en inglés) es un circuito electrónico que se incluye en un receptor de satélite digital, el cual decodifica difusiones encriptadas (junto con la tarjeta de abonado controlada con la plataforma digital). Existen una gran variedad de sistemas de encriptado y se necesita una CAM que corresponda con el sistema de encriptado que el difusor o plataforma digital este utilizando. No existe una única CAM que permita trabajar con todos los formatos codificados existentes.

Existen tres tipos de CAM:

- 1.) **CAM's Proprietario:** Estas son generalmente removibles, y se suelen diseñar para un receptor específico.
- 2.) **CAM's Integradas:** Estas CAM's forman parte de la placa madre (motherboard) del receptor y no son removibles.
- 3.) **CI (Interfaz Común) CAM spot:** Los receptores con esta característica tienen un socket estándar que toma cualquier CAM compatible (CI). El sistema es un estándar común, que ha sido convenido por la mayoría de los fabricantes que se basan en la recepción por satélite.

El acceso condicional debe cumplir los siguientes requisitos:

- Compatible con los estándares de codificación y modulación.
- Robusto al ruido y otras interferencias.
- La señal resultante se debe poder enviar por medio de transmisión.
- Permitir un enorme número de suscriptores.
- Ser suficientemente seguro para evitar a los piratas.
- Ser lo más transparente posible para la información original.

5.5.9.4 Tarjetas Inteligentes para el Acceso Condicional

Una tarjeta inteligente constituye usualmente el módulo para el acceso condicional del IRD. La tarjeta, habitualmente de tipo PCMCIA, es capaz de procesar los datos MPEG-2 provenientes del multiplexor. La tarjeta debe tener una serie de funcionalidades que facilitan su operación como configuración remota, acceso al canal de retorno interactivo, mecanismos de pago por el servicio, iniciación automática de llamada, número de identificación personal (PIN) y campos configurables como región de acceso, idioma,

Capítulo 5 Recepción

tipo de abonado, etc. Típicamente una tarjeta de la actual generación puede controlar hasta 65.535 productos diferentes a los que estar abonado.

El funcionamiento es el siguiente: cada tarjeta de acceso condicional procesa el flujo MPEG-2 de transporte antes de que pase por el demultiplexor. Si hay varias tarjetas insertadas pasa secuencialmente por todas ellas hasta que alguna es capaz de extraer la información de descifrado. Entonces esta tarjeta toma el control de las operaciones de desenmascarado.

5.6 Receptor Decodificador Integrado

Para que el nuevo sistema de difusión de TV digital sea compatible con los sistemas anteriores de TV analógica, se necesita un dispositivo en el conjunto receptor, que permita capturar la señal y realizar el tratamiento necesario sobre ésta, entregando a su salida una señal adecuada al aparato de receptor de TV convencional ya instalado; este dispositivo es el Receptor Decodificador Integrado (IRD, por sus siglas en inglés).

5.6.1 ¿Qué es un Set-Top Box?

El IRD también es denominado Set-Top Box y es el nombre que se da a todos los aparatos electrónicos que se instalan anexos al televisor con objeto de convertir la señal que reciben externamente en información que pueda mostrarse en el televisor, por ejemplo, los decodificadores de los canales digitales. El set-top box ha conocido verdaderos cambios en su hardware y software, como la inclusión de navegadores para la Red, es un dispositivo decodificador que posibilita la recepción en el hogar de la televisión digital y todas sus ventajas: los servicios interactivos, el acceso condicional y la televisión de alta definición. Básicamente se encarga de recibir una señal digital en alguno de los estándares de TV digital existentes, comprueba que tenga permiso para mostrarla y envía la señal de forma analógica al televisor.

Divididos en tres grandes grupos, los de la primera generación (todavía vigentes) se basan en el funcionamiento de software sobre hardware. Al contrario que cualquier circuito electrónico que funciona bajo controles puramente físicos, trabajan a partir de un CPU interno y un software de control, exactamente igual como funciona una PC.

Los de primera generación poseen demodulador de señal para obtener los datos de una señal de RF, decodificador digital, demultiplexor, módulo desaleatorizador, módem y un codificador de vídeo y/o multimedia. Estos elementos permiten obtener de una señal modulada o en RF las señales de vídeo y audio que el satélite o la estación terrestre envía en forma de ondas.

Estas unidades funcionan bajo el control de una tarjeta de acceso inteligente y permiten disfrutar de todo tipo de servicios a través del teléfono, gracias al módem que se comunica con la central de abonados a la plataforma digital.

En la parte software disponen de un navegador personalizado para elegir canales de vídeo o radio, o formular otras cuestiones como consultar la cartelera de cine al modo de una web, pero lejos de la calidad de esta última.

La segunda generación de set-top-boxes elimina los módulos de demodulación, demultiplexor y decodificador digital, pero mantiene el módem y el codificador multimedia. Lo que se mejora en este caso es el software y se incluye un programa que permite navegar por Internet y enviar y recibir correo electrónico. Esta segunda generación está exclusivamente diseñada para ampliar los servicios de un televisor, como añadir Internet a éste.

La tercera generación es un híbrido de las dos primeras y ofrece tratamiento de canales de televisión digital e Internet desde un navegador más avanzado que soporta incluso Java. Se basa además en un

estándar de comunicación que permita el intercambio de datos entre otros electrodomésticos del hogar o computadoras remotas.

5.6.2 Funcionamiento del IRD

El IRD se encarga básicamente de decodificar y descomprimir las señales de video y audio digitales recibidas en formato MPEG2, de demodular la señal digital recibida y corregirla de posibles errores introducidos por el canal de transmisión, desencriptarla (si fuese necesario) y la convierte en una señal de televisión analógica para ser visualizadas en un receptor de televisión estándar, a través de cable, parabólica o por la toma de antena (video modulado en un canal cualquiera).

Así pues, mediante el Set Top-Box se sintoniza automáticamente un servicio concreto y se agrupan en categorías servicios gracias al contenido de las tablas que constituyen la Información de Servicio (SI) las cuales a su vez son una ampliación del campo PSI (Información específica de programa) de la trama MPEG. De este modo se consigue el acceso a la Guía Electrónica de Programación (EPG).

La EPG suministra al abonado toda la información sobre los programas y servicios difundidos por la plataforma proveedora. A través del EPG se controla el funcionamiento del IRD en todo lo referente al canal sintonizado, sincronización, demultiplexación, verificación de acceso condicional y desenmascaramiento.

Los bloques conceptuales típicos del IRD (receptor decodificador integrado) según la Fig. 5.39 son a saber:

- Receptor, encargado de la recuperación y corrección de errores de la señal procedente de la antena.
- Acceso condicional, para el control del acceso del usuario a los programas y servicios a través de claves que han de ser descifradas, y que permiten la decodificación de la información pertinente.
- Descrambling. Se ocupa de hacer inteligible las imágenes y el audio recibidos.

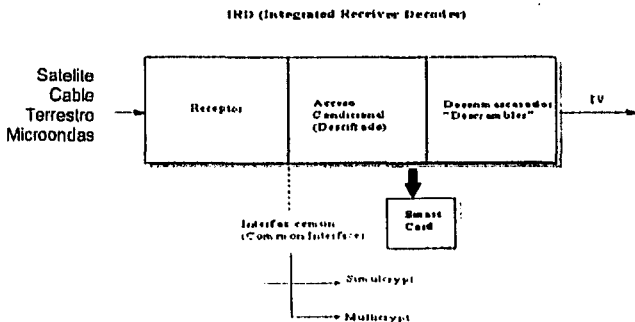


Fig 5.39 Receptor decodificador integrado (IRD) típico.

El IRD, en forma más detallada lo podemos dividir en varios bloques donde las funciones que realiza cada uno de ellos son las siguientes:

- Sintonizador: elige un canal (transpondedor/canal terreno/canal de CATV) y lo convierte a una frecuencia fija para ser filtrada adecuadamente.
- Demodulador: además de demodular, incorpora un equalizador, es decir, dispone de un filtro digital con capacidad para equalizar el canal de distribución.
- Sistema de decodificación de protección contra errores: identifica y corrige los bits erróneos.
- Desentrelazador: encargado de eliminar el algoritmo de entrelazado.
- Demultiplexor: elige el programa deseado del canal anteriormente sintonizado y su dirección hacia el circuito de acceso condicional para desentrelazar o no la señal, en función de que el programa sea de pago o libre.
- Decodificadores MPEG-2: decodifica digitalmente las señales de audio, vídeo y datos del programa concreto.
- Conversores digitales-analógicos: convierte en analógica la señal digital generada por los decodificadores.
- Codificador: codifica la señal analógica en el estándar del país concreto (PAL, SECAM, NTSC, etc.) y puede ser vista en el televisor.
- Microprocesador: actúa como gestor del receptor IRD.

En realidad NO existen TV Digitales como tal, los pocos televisores digitales que se venden (a parte de los televisores con tecnología de tratamiento de imagen digital) son sólo aparatos que integran dentro de su carcasa un receptor/decodificador digital.

Existen dos tipos diferentes de estas unidades y por tanto dos modos de funcionamiento, dado que los de tercera generación coexisten con los dos primeros al ser una suma de tales.

Los de primera generación ya se han popularizado entre nosotros y son los también denominados receptores de televisión digital. Es obvio que la tendencia a tratar sistemas relacionados con la televisión digital está justificada. Por ello, explicaremos de forma breve cómo funciona esta primera generación de Set-Top-Boxes.

5.6.2.1 Primera generación

Estos dispositivos se encargan de "capturar" el paquete de canales de su programación, dado que cada uno de estos terminales obedece según los datos que recibe y convierte los números o datos digitales en una señal estándar de televisión. En este punto diferenciamos dos tipos de señales de televisión digital: los canales de TV libres y los que pertenecen a una plataforma. Estos últimos están encriptados y responden a canales pagos. Cada receptor reconoce sus propios canales y los agrupa de forma ordenada.

Pero lo que introducen estas nuevas unidades es el nuevo concepto de navegar a través de páginas o menús. Con resoluciones más avanzadas que el teletexto convencional, las unidades de primera generación soportan la nueva moda de salir por menús desplegable que muestran en todo momento información acerca del receptor, derechos de suscripción, control de canales y otros detalles no menos importantes.

Por ejemplo la terminal de CSD (Canal Satélite Digital) permite la opción de compra de un evento a través del mando a distancia. Si nos situamos en un evento de pago, en la pantalla aparecen datos que muestran el tiempo restante de la película, título, hora que empezó, detalles de la película y la opción de compra. Si pulsamos la tecla "OK" se gestiona la compra y el terminal envía a través del módem la petición del usuario. Paralelamente la central de abonados envía los códigos de activación de la tarjeta de abonado a través del satélite. Esta interactividad es un acercamiento suave al concepto de navegar por Internet y una introducción también suave a aquellos que no conocen el mundo de la informática, pero sí el estilo de navegar por menús.

Otra opción destacable es la telecarga. Desde estas unidades es posible mediante conexión puerto serie DB9 RS232 con la PC realizar descargas de programas, juegos o revistas en formato PDF (Adobe Acrobat Reader). La velocidad de bajada de información supera con creces a la de Internet, alcanzando

desde varios cientos de Kbits por segundo hasta 2 Mbits/seg, aunque al final se reduce a los 9.600 bps del cable RS232, quedando en memoria el resto de la descarga.

5.6.2.2 Segunda generación

Internet es un fenómeno de masas y tarde o temprano debía "chocar" con otro fenómeno de masas como es la televisión. Los a-el-top-boxes de primera generación introducen la interactividad desde el control remoto y la navegación a través de menús y, lo más importante, cuentan con el módem como elemento indispensable para comunicaciones externas.

Así nace WebTV (es una forma de interacción con nuevos medios de entretenimiento desde el televisor, desarrollado por Microsoft y una alianza de empresas), terminales de segunda generación que permiten desde el televisor enviar y recibir correo electrónico o navegar por Internet. Se suprime la parte de recepción de canales de televisión, pero se mantiene el codificador de TV para poder ver las páginas web en la pantalla de nuestro televisor.

Estos terminales soportan un navegador y aceptan casi los estándares gráficos existentes en Internet, incluido el Shockwave. El funcionamiento interno es básicamente igual al de una computadora, salvo que carece de sistema operativo, exceptuando el navegador y el mínimo sistema operativo requerido para funcionar. Además, también carece de tarjeta gráfica, dado que los televisores funcionan a una frecuencia de 50 Hz y en norma PAL, SECAM o NTSC, para el caso europeo.

Estas unidades siguen manteniendo el mando a distancia por defecto, desde el cual podemos navegar por Internet de forma sencilla, pero introducen también el teclado, aunque en esta ocasión por infrarrojos. El teclado permite escribir correo electrónico, algo impensable desde un mando a distancia.

5.6.2.3 Tercera generación

Aquí está la auténtica revolución y la convergencia total de la televisión y la PC. Antes de esta generación se había pensado en televisores que incluyeran un módulo de segunda generación en su estructura, pero importantes novedades como Personal Java o Spyglass han permitido desarrollar Set-Top Boxes más potentes y revolucionarios que un televisor con Internet o el denominado WebTV de segunda generación.

Los nuevos dispositivos ya gozan de sistema operativo e incluyen posibilidades de comunicación telefónica o terminales GSM (sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés), e incluso cuentan con un nuevo entorno gráfico que permite algo más que escribir o guiar un puntero. Otra importante novedad es que incluyen el lenguaje DAVIC (Digital Audio Video Interactive Communication) para la comunicación avanzada entre electrodomésticos, Set-Top Boxes e incluso computadoras a través de Internet.

Los nuevos terminales son capaces de recibir televisión digital por satélite o medios terrestres, o mantener una comunicación de voz a través de la red de satélites de comunicación.

Con esto vemos que en la unión de la televisión y la computadora también entran en juego las comunicaciones de voz. Los dispositivos de tercera generación pueden además comunicarse con cualquier PDA o Handheld PC, ya que algunos modelos de estos sistemas de bolsillo pueden tratar la voz gracias a una tarjeta PCMCIA y un teléfono digital GSM.

Como se ha visto, los IRD's lo único que hacen es decodificar una señal digital a una compatible con la visualización normal, y esto es, PAL (en el caso de la mayoría de los países europeos) y NTSC en el americano. Algunos hasta ofrecerán la señal directamente en RGB, que, en definitiva, no es más que la señal que necesitan los TRC's (tubos de rayos catódicos) para crear una imagen visible. O sea que aquellos que tengan un televisor nuevo ya no necesitarán vender y comprar un nuevo televisor.

La TV analógica permite sólo ver y oír programas televisivos, a la vez que, como valor añadido, podemos "navegar" por un completo menú de texto (el teletexto). La TV digital, además de eso, permite infinidad de

cosas más: navegación por la Web, correo electrónico, comercio electrónico, videoconferencia, etc. Son muchos los servicios que la DTV puede ofrecer al usuario, pero estos sólo estarán disponibles si las empresas de creación de contenidos son capaces de ofrecerlos.

5.6.3 Software para IRD's

Para poder ejecutar los datos o programas que se descargan de la señal se necesitan una serie de elementos de software. Estos se pueden describir con un esquema de capas de forma parecida a como se describiría una PC. En la Fig. 5.31 se tienen las capas de software.

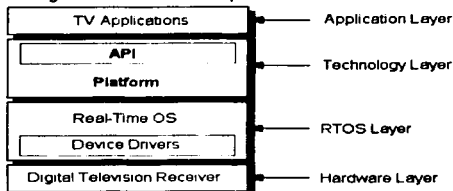


Fig. 5.31 Capas de software

Hardware Layer (Capa de Hardware): Son los componentes que forman el dispositivo o Set-Top Box (por ejemplo, CPU, memoria, acceso condicional, decodificador de MPEG, etc.)

RTOS Layer (Sistema Operativo): Como una PC, los Set-Top Box también necesitan un sistema operativo para la ejecución de aplicaciones interactivas. En este caso se utilizan RTOS (Real Time Operative Systems o sistemas operativos en tiempo real ya que hay una serie de operaciones como la decodificación de MPEG que necesitan ser realizadas al instante). Algunos ejemplos son Linux, Windows CE o pSOS.

La plataforma (o middleware): Es un conjunto de módulos que permiten el desarrollo más eficiente de las aplicaciones. La plataforma facilita un API (Application Programming Interface) para cada lenguaje de programación que soporte. Aquí nos encontramos con diferentes plataformas como OpenTV, MediaHighway, Microsoft TVPAK o Liberate con APIs para C, Pan Talk, Visual Basic o HTML/JavaScript respectivamente. Un set-top box puede soportar varios lenguajes de programación mediante la instalación de varias APIs.

Application Layer (Capa de aplicación): Aquí es donde se encuentran las aplicaciones interactivas que una vez descargadas se pueden ejecutar (por ejemplo, anuncios interactivos). A diferencia del resto de capas, esta es la única que no necesita residente permanentemente. Es decir, se pueden descargar las aplicaciones bajo demanda o en un momento determinado y ser borradas de la memoria cuando ya se hayan utilizado (como un spot interactivo) o pueden residir permanentemente.

En la actualidad muchas compañías han formado alianzas estratégicas para desarrollar aplicaciones que permitan la prestación de servicios para TV. La posibilidad de personalizar contenidos se da en todos los paquetes ofrecidos y los servicios varían poco entre empresas, priman servicios de televisión e internet que reciben diferentes nombres. Algunos proveedores de software son los siguientes:

- General Instrument,
- LG Electronics,
- Microsoft,
- Panasonic,
- Samsung,
- Philips,
- Scientific-Atlanta,

- Thomson Consumer Electronics y
- Zenith Electronics , entre otros.

5.6.4 Hardware para Set-Top Box

El *hardware* requerido para la implementación de servicios de ITV (televisión digital interactiva) es, en general, de características simples, es suficiente con un televisor convencional, una conexión telefónica o de cable y un IRD análogo o digital para acceder a servicios interactivos de televisión e internet; el desarrollo en la capacidad de estos últimos aparatos hace la diferencia a la hora de prestar servicios que requieren mayor ancho de banda. La capacidad en memoria, la compatibilidad con diferentes versiones de navegadores, el soporte de gráficos de diferentes formatos como GIF o JPG y páginas de diferente lenguaje como HTML, la tarjeta de video y audio, etc., son elementos de aplicaciones que poseen todos los aparatos y marcan la diferencia entre uno y otro. Las características generales en cuanto a componentes se presentan en los siguientes modelos seleccionados por su popularidad entre los usuarios y operadores. Actualmente hay muchas empresas interesadas en el diseño y fabricación de microprocesadores para set-top boxes, entre ellos podemos encontrar:

- IBM (STB04xxx)
- National Semiconductor (Geode SC1200)
- Lucent Technologies (TriMedia)
- ARM (ARM7)
- Sony (CXD 1959)
- ATI (Xilleon 220)

Capítulo 6 Situación actual de la televisión digital**6.1 Investigación documental sobre el estado del arte**

En los últimos años hemos asistido a una paulatina transformación de los formatos de representación de información desde el plano analógico al digital. Las ventajas del formato digital, desde el punto de vista tecnológico, empresarial o del usuario, han supuesto la desaparición fulminante de medios sólida y ampliamente establecidos en la cultura de nuestra sociedad, como el caso de la cinta de audio y el disco de vinilo en favor del disco compacto, o el previsible a muy corto plazo de la cinta de video a favor del disco DVD.

A nadie se le escapa que el nivel de calidad alcanzado en la reproducción de las fuentes de información es notoriamente superior en los nuevos dispositivos digitales. Sin embargo, es la versatilidad del formato digital el elemento principal que permite este tipo de transformaciones radicales en los hábitos de consumo de la sociedad. Esta versatilidad permite mejorar y ampliar de forma considerable el abanico de funcionalidades del que el consumidor puede disfrutar. Y es sin duda desde un catálogo de valores añadidos inexistentes hasta el momento en los formatos analógicos, desde donde se entienden y justifican revoluciones tecnológicas que implican el cambio de cientos de millones de dispositivos en tan corto periodo de tiempo, con el volumen de negocio que esto lleva asociado.

Tras esta transformación y consolidada de los formatos de representación, le llega ahora el turno al formato de transmisión de la televisión. Tras unos años de rumores, anuncios, experimentación y lanzamiento de plataformas digitales aisladas (tanto terrestres, por cable y satélite), todo parece indicar que se acerca el momento de la revolución más importante que ha sufrido este servicio en su historia: el paso en masa del formato analógico al digital.

Los servicios de TV Digital por satélite comenzaron en 1996, con un desarrollo desigual según la estrategia de implantación seguida, y con los resultados más notables en Francia, con tres plataformas y más de un millón de abonados en su conjunto.

Los primeros pasos para la introducción de la tecnología en la TV por cable comenzaron ese mismo año, ligados en general a la necesidad de introducir servicios interactivos avanzados como forma de dinamizar el mercado.

La difusión terrenal arrancó antes de finales de 1998 en el Reino Unido y Suecia. El DVB está promoviendo fuera de Europa su sistema DVB-T para difusión terrestre como un sistema flexible, con capacidad para televisión de alta definición, adaptable a canales de diferente ancho de banda y susceptible de ser utilizado en SFN con cobertura de todo un país. La tabla 6.1 nos presenta las fechas de inicio de la difusión terrestre en algunos países europeos. Esta promoción está orientada sobre todo a China, el sudeste asiático, Australia, Brasil y Argentina. La toma de decisiones acerca del sistema de televisión digital que adopte cualquier país no es una tarea simple. Aparte de las consideraciones técnicas, las decisiones económicas y sociales que esto conlleva deben ser atendidas con el grado de importancia y relevancia que las mismas demandan.

Optar por un sistema de TV Digital no es, únicamente, planear el desarrollo futuro de la televisión tal como la conocemos en la actualidad. Por las características de los adelantos tecnológicos que ofrecen, la televisión toma nuevas dimensiones que superan con creces la simple transmisión de una señal audiovisual que es recibida por un receptor o televidente en su hogar.

Pais	UK	Suecia	España	Alemania	Dinamarca
Fecha de lanzamiento	15/11/98	1/4/99	1999/ 2000	?	?
Cobertura para el lanzamiento	70%/90%	50%	20%/50%	?	?
Fin analóg.	2015?	2008/2012	1/1/2012	2010/2016	?
Multiplexores	6	3/6	6 en lanzamiento	3 en lanzamiento	4
8k/2k	2k	8k	8k	8k	8k

Pais	Irlanda	Finlandia	Francia	Italia	Holanda	Noruega
Fecha de lanzamiento	9/2000	10/2000	?	?	2000/2002	2000
Cobertura para el lanzamiento	95%	50%	65%/ 85%	?	18%/ 52%	65%
Fin analóg.	2009/2015	2015?	2015?	?	2010?	?
Multiplexores	6	3	6	2/3 (primera fase)	5/6	2
8k/2k	8k	8k	8k	8k	8k	8k

Tabla. 6.1

El Reino Unido ha asumido un papel líder en Europa para el desarrollo de la TV digital terrestre. En el Reino Unido se han habilitado 6 múltiplex¹ que se han repartido entre los radiodifusores existentes y una plataforma comercial. A los radiodifusores se les ha concedido medio múltiplex, con capacidad equivalente a 2 programas por canal analógico existente. De este modo, la BBC ha obtenido un múltiplex completo, la ITV, Channel 4 y Channel 5, medio múltiplex cada uno respectivamente, y la S4C, el radiodifusor regional de Gales, otro medio múltiplex con cobertura exclusiva del País de Gales. Por su parte, la plataforma comercial BDB, constituida por los grupos Carlton y Granada, ha obtenido tres múltiplex de cobertura nacional y, por otra parte, medio múltiplex con cobertura de todo el R.U., excepto Gales, ha sido concedido al consorcio SDN, formado por S4C, NTL y United News and Media.

En paralelo con el lanzamiento de la DTV-T, se produce el comienzo de los servicios digitales de BSkyB. La situación es extremadamente interesante, porque a este lanzamiento simultáneo de los servicios de TV digital terrestre y por satélite se suman algunos operadores de cable que están procediendo a digitalizar sus redes. Esto supone que el usuario final tendrá que elegir qué vía de distribución prefiere, en lo que influirán no sólo las ventajas intrínsecas de cada forma de distribución, sino también el atractivo de los contenidos y de las formas de subvención de las cajas de usuarios o de receptores que ofrezcan las diferentes plataformas.

Suecia lanzó también los servicios DTV-T a principios de 1999, con dos múltiplex y una cobertura inicial del 50% de la población. El tercer país europeo que opta a la introducción de la TV digital terrestre a corto

¹ Múltiplex: Nombre que recibe "un canal" en televisión digital. En este canal se pueden transmitir entre 4 y 6 canales de vídeo analógico.

plazo es España. En España existen ya dos plataformas de satélite en servicio y los operadores de cable comenzaron a ofrecer sus servicios en 1999.

En Europa en DVB se trabaja en una especificación para Interfaz de Programación de Aplicaciones API (Aplicación Programming Interface) abierto, en contraposición a los sistemas propietarios de uso común hoy día, y en concluir la especificación para canal de retorno en los sistemas de antena colectiva.

En E.U.A el cambio a la nueva modalidad ocurrió a finales del año 1998. El nuevo sistema opera sobre todo en la banda de 470 a 890 MHz (canales 14 a 83) y en frecuencias UHF. El sistema nuevo y el antiguo deberán coexistir hasta el 2006, en que deben cesar las emisiones de señales NTSC, tanto en la banda de 54 a 216 MHz (canales 2 a 13), como en frecuencias UHF y VHF. La FCC reasignará entonces dichos canales a la televisión digital.

En los Estados Unidos, se encuentran en operación más de 200 transmisores de televisión digital que están llegando aproximadamente al 70% de los hogares americanos y se han vendido más de 500,000 receptores de DTV.

Los sistemas de DTV cuentan con virtudes y defectos que no los descalifican pero que sí deben ser probadas en condiciones específicas para determinar cuál puede ser la más conveniente para un país u otro. Las normas ATSC y DVB-T han sido desarrolladas para apoyar metodologías de transmisión diferentes; ATSC se desempeña mejor en transmisiones de alto poder a distancias más largas mientras que DVB-T tiende a desempeñarse bien en ambientes multitrayecto, incluyendo la recepción móvil en distancias más cortas. Además estas están respaldadas por una amplia gama de fabricantes de equipos de transmisión de televisión y receptores de consumo; por lo que le ofrecen a los países que los adoptan las enormes ventajas de una base grande y creciente de programadores, fabricantes y consumidores. Los costos de cada elemento en ambos sistemas están disminuyendo, y continuarán disminuyendo, a medida que más sistemas entren en operación y que se amorticen las grandes inversiones realizadas en el contexto de una base más amplia de clientes.

Contrasta el éxito probado y la base instalada de ATSC y DVB-T con ISDB, que sólo se desarrolla en un país y que todavía debe ser respaldado completamente por fabricantes, consumidores o programadoras. ATSC y DVB-T son sistemas comprobados; ISDB muestra todavía una promesa sin comprobar.

La consultora Strategy Analytics reveló en mayo del año 2002 su pronóstico europeo de televisión digital, y predice el crecimiento sólido para la industria. La TV terrestre digital seguirá jugando un papel limitado, ayudado por la ascendente demanda de convertidores de TV digital. El número de casas europeas que adquirieron TV digital en el 2002 alcanzó aproximadamente 7.3 millones, 0.1 millones menos que el pronóstico anterior de Strategy Analytics; de los cuales, el 58 % de clientes de nuevos TV digitales escogió servicios por satélite, mientras el 36 % optó por cable. El 11 % de casas europeas tendrá TV digital vía terrestre hacia 2008, comparado al 32 % vía Cable y el 29 % vía satélite.

6.2 Televisión interactiva

En los próximos años, la tecnología digital promete cambiar profundamente el mundo de la televisión, dejando al espectador de ser un sujeto pasivo y pasando a ser un sujeto activo de las facilidades interactivas que, cada vez en mayor medida, ofrecen los proveedores. La televisión interactiva es un servicio accesible desde el aparato de televisión diferente de la sucesión continua de emisiones de programas de video típica de la televisión común. Con la tecnología digital se pueden entremezclar contenidos audiovisuales tradicionales con datos, posibilitando la transmisión de aplicaciones software multimedia que se ejecutarán en un televisor digital o en un televisor analógico dotado de un decodificador o Set-Top Box (STB). Estas aplicaciones pueden sincronizarse con contenidos tradicionales, y proporcionar interactividad con el usuario, al igual que un canal de retorno para la comunicación con el proveedor. El diagrama de la Fig. 6.1 muestra lo que la televisión digital interactiva nos entregará.

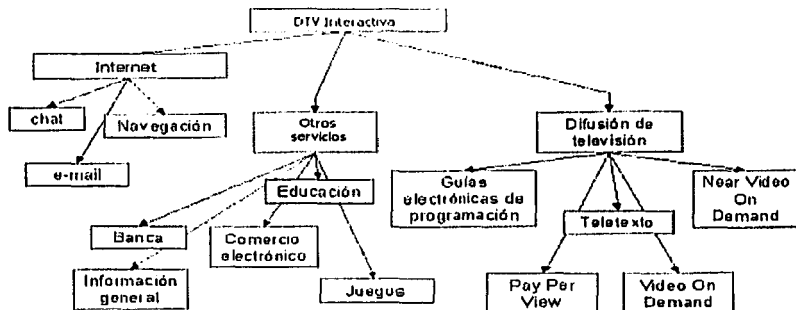


Fig. 6.1 Diagrama TV digital interactiva

El punto clave hoy en día de la transición de la televisión analógica a la digital no es la resolución de problemas tecnológicos, sino lograr la viabilidad económica de unos proyectos cuya envergadura y alcance implican la realización de fuertes inversiones, tanto en desarrollo y adquisición de tecnología (hardware y software) como en la generación de contenidos por lo que el gran reto de las empresas de televisión digital pasa por utilizar las ventajas de la interactividad para realizar comercio a través de la televisión. Según un estudio realizado, para el 2004 en un mercado de 20 mil millones de dólares los Ingresos se repartirán: Publicidad (11 mil millones), comercio (7 mil millones) y suscripciones (2 mil millones). La reducción del riesgo de estas inversiones exige alcanzar cuanto antes una masa crítica de usuarios que permita la obtención de beneficios en un plazo razonable. Para ello, es necesario optimizar la relación entre el valor añadido que se le ofrece al usuario y el costo que lo supone. Para conseguirlo, parece necesario la normalización de señales y equipos:

- En lo que respecta al formato de transmisión de la información, la tecnología que existe en la actualidad es uniforme y se basa en el estándar MPEG-2
- Sin embargo, para sistemas de acceso condicional, servicios de televisión interactiva y servicios de acceso a Internet, las soluciones son propietarias, lo que redundará en mayores costos e incompatibilidades entre los equipos de usuario.

6.2.1 Interfaz de programación de aplicaciones (API)

Para la provisión de servicios interactivos, la pieza clave es la llamada API, es decir el sistema operativo que debe interpretar los comandos multimedia y presentarlos en la pantalla del televisor.

Una interfaz de programación de aplicaciones esta constituida por un conjunto de funciones, estructuras de datos y protocolos que constituyen un nivel de adaptación intermedio a través de la cual las aplicaciones requieren la activación de los recursos subyacentes de un equipo determinado con independencia de la configuración concreta de los elementos que integra el Set-Top Box.

Una API estándar permite interoperabilidad entre el cable, satélite y terrestre, abarata costos y permite que cualquier fabricante o proveedor de servicios pueda utilizarla.

Sin embargo, como se dijo anteriormente, en los sistemas de acceso condicional, servicios de televisión interactiva y servicios de acceso a Internet, las soluciones son propietarias, lo que redonda en mayores costos e incompatibilidades entre los equipos de usuario. Algunas de estas interfaces son:

OpenTV. Es la tecnología más extendida en todo el mundo y es utilizada, sobretudo, en Europa aunque también en E.U.A. Se trata de un lenguaje similar al C con bastante capacidad gráfica y de cálculo.

MediaHighway. Es una tecnología utilizada sobretudo en Europa, pero también en E.U.A. Aunque el lenguaje nativo de MediaHighway es PanTalk, es posible desarrollar MediaHighway con otros lenguajes, ya que se ha extendido la capa de middleware² de MediaHighway con varias máquinas virtuales³ VM (virtual machine):

- MediaHighway VM (PanTalk)
- Java VM
- MHEG VM
- HTML VM

MHEG-5/EuroMHEG. Es un sistema realmente libre de utilización y estándar. Que define un formato de codificación de aplicaciones multimedia.

En concreto, MHEG-5 trata de la implementación del estándar en terminales de capacidad limitada como los receptores de televisión.

El MHEG-5 se ha implementado en Gran Bretaña en una versión simplificada, el llamado UK Profile. Sin embargo, las limitaciones del UK Profile eran excesivas para poder competir con los estándares propietarios así que se impulsó las especificaciones del llamado EuroMHEG. Esta API contempla:

- Canal de retorno en distintos medios.
- Descarga de fuentes adicionales
- Acceso a la información de acceso condicional e información de servicio (tablas de programas y programaciones muy útiles para la confección de guías electrónicas de programas (EPGs).
- Conjunto de herramientas para transacciones comerciales

Con las nuevas extensiones, el EuroMHEG se convierte en una API comparable a las otras con la ventaja de ser no propietaria.

En estados unidos se han desarrollado además, otros sistemas como el PowerTV o el ATVEF (Advanced Television Enhanced Forum). El primero orientado a redes de cable y el segundo utiliza HTML como base e inserta las aplicaciones tanto a emisiones analógicas como digitales.

6.3 Principales plataformas tecnológicas

6.3.1 OpenTV

Es una empresa que se dedica esencialmente a la TVI, es considerada actualmente la industria más completa y destacada del mercado y la compañía líder de televisión interactiva.

Proporciona una amplia gama de soluciones de TV interactiva que incluye operaciones middleware, aplicaciones de contenido, herramientas de creación de contenidos, servicios de soporte profesional, y estrategias de asesoramiento.

² Un middleware es una capa de software cuya misión es facilitar el desarrollo y ejecución de aplicaciones interactivas en TV. Un mismo middleware puede poseer diferentes máquinas virtuales para soportar diferentes entornos de desarrollo (C, HTML/JavaScript, Java, etc.)

³ Máquina virtual. Simulación funcional de un ordenador y de sus dispositivos asociados.

Especificación software

Define una plataforma constituida por diferentes elementos tales como:

- **OpenTV Publisher**, es una herramienta que facilita la integración de información en tiempo real de fuentes que pueden encontrarse en internet, utilizando estándares como el WWW, XML, HTTP, etc.
- **OpenTV Gateway**, es un componente que controla toda la información de la plataforma. Es la responsable de la unión entre los STB y los servidores de e-mail y e-commerce, y traduce las transacciones para protocolos de internet como HTTP, actualmente usados en las transacciones por internet.
- **Service Platform Manager**, es el encargado de gestionar el núcleo del operador e implementar las reglas para el control de los datos, como por ejemplo, reglas de seguridad.
- **Interactive Service Manager**, es un componente que proporciona la gestión centralizada y la administración de todos los servicios interactivos.
- **Viewer Manager**, es el elemento que identifica individualmente cada usuario y proporciona detalles del mismo de forma que sean posibles las transacciones comerciales.
- **Transaction Manager**, permite que todas las transacciones sean registradas por el operador para luego conocer el nivel de servicio que se está prestando tanto para los proveedores de servicios como para los usuarios.
- **Advertising Manager**, gestiona y añade dinámicamente anuncios a las aplicaciones existentes.
- **Messaging Manager**, soporta la distribución del conjunto de funcionalidades de mensajes como, e-mail, chat, y mensajes instantáneos.

6.3.2 PowerTV

La plataforma de PowerTV es una plataforma software para la emisión de televisión interactiva. Está diseñada específicamente para STB y redes de cable HFC⁴. Esta solución representa una aproximación completamente nueva a un multimedia interactivo desarrollado específicamente para su implementación en un entorno poblado por múltiples proveedores de STB.

Está constituido por:

- **PowerCore**, un gestor de memoria y kernel⁵.
- **Power Modules**, formados por librerías para la comunicación en la red, sintonización de canales analógicos y digitales, gestión de la seguridad, etc.
- **PowerTV** proporciona un sistema operativo y una plataforma para STB, con una amplia gama de aplicaciones interactivas y servicios para redes bidireccionales.

Con la definición de la plataforma software de PowerTV se persiguen varios objetivos:

- Integración de sistemas de diferentes compañías.
- Conocimiento del funcionamiento de un sistema de cable bidireccional.
- Establecimiento de la base para el desarrollo de un nuevo estándar específico para las comunicaciones HFC.

⁴ HFC (Hybrid Fibre Coaxial). Tecnología a lámbrica de servicios de banda ancha. Las redes de acceso de HFC permiten el despliegue de todo tipo de servicios, además de la distribución de señales de televisión analógica y digital.

⁵ Es aquella parte de un sistema operativo que interactúa de forma directa con el hardware de una máquina. Entre sus funciones fundamentales se encuentran, la gestión de memoria, administración del sistema de archivos, la asignación de recursos entre los usuarios, la administración de servicios de entrada/salida, entre otras.

Especificaciones software

La plataforma software ofrece interfaces de programación de aplicaciones basados en C e interfaces middleware que sirven de soporte a aplicaciones con la velocidad, eficiencia y riqueza de contenidos que los usuarios demandan a sus operadores de DTVi.

Los componentes software de la plataforma PowerTV:

- **Terminal STB digital integrado.** El diseño del STB es decisión de cada fabricante, y son ellos los que deciden los componentes que incluyen en los dispositivos.
- **Bootloader.** Proporciona el mecanismo para que se inicialice el STB cuando se enciende y se arranque el sistema operativo. Además el Bootloader ha de posibilitar la descarga e instalación de sucesivas mejoras del sistema operativo y otras componentes software permanentemente programadas en la memoria flash del STB.
- **Power-On self Test.** Es un conjunto de rutinas software que llevan a cabo las comprobaciones de las comunicaciones internas en el STB para asegurar que todo funciona como corresponde. Los restos tests se transmiten al sistema operativo a través de una interfaz bien definida y deben estar disponibles para los sistemas de diagnóstico en la cabecera.
- **Capa de abstracción hardware.** Dada la gran proliferación de STB diseñados, es vital asegurar que el paquete software pueda ser dotado de forma rápida y eficiente a diferentes diseños hardware. Esto se consigue gracias a una capa de abstracción hardware consistente en una API que permite la abstracción de las dependencias hardware.
- **Sistema operativo.** Proporciona el núcleo sobre el que se ejecuta la plataforma software. Es el responsable del funcionamiento del STB cuando se conecta a la red y de proporcionar un amplio conjunto de interfaces de programación. PowerTV proporciona un sistema operativo para STB denominado PowerTV HTML Engine, el cual incluye una plataforma que soporta protocolos de internet, HTML, Java Script, y Personal java.
- **Soporte internet /Estándares industria.** Con la explosión de internet, es claro que las tecnologías web tienen un lugar importante en el STB, por eso la plataforma debe soportar tecnologías como HTML, ECMAScript, HYYP, SSL, cookies, ATVEF, etc. Que pueden ser utilizadas por aplicaciones nativas y por aplicaciones basadas en contenidos.
- **Aplicación Residente.** Esta aplicación reside de forma permanente en la memoria flash y proporciona el interfaz de usuario principal. Consiste tradicionalmente en una aplicación nativa que permite un amplio rendimiento y una gran robustez.
- **Servicios y Aplicaciones Descargables.** Algunas aplicaciones pueden descargarse de los servidores de la cabecera de cable. Estas aplicaciones pueden ser implementadas utilizando las herramientas mas adecuadas, ya que la plataforma dispone de diversos interfaces compatibles con los diferentes lenguajes.

6.3.3 Liberate

Liberate constituye una de las plataformas software para televisión interactiva. Operadores de redes de cable, satélite y telecomunicaciones en el mundo utilizan este software para incorporar servicios digitales interactivos y distribuir aplicaciones de internet mejoradas en gran variedad de dispositivos, desde televisores hasta consolas de videojuegos.

Para ello Liberate busca un modelo de tecnología de DTVi con la principal característica de internet:

- Estándares abiertos y una arquitectura que no pertenece a nadie, y un modelo de terminal sencillo y fácil de usar.
- El software de cliente y servidor Liberate soporta y distribuye por televisión contenido y aplicaciones basados en red de IP realizados en HTML y JavaScript.
- El paquete de programas de software de Liberate trabaja con múltiples plataformas de hardware y sistemas operativos. Es modular y ampliable de manera que sus clientes pueden hacer crecer

sus negocios entorno a este software. Soporta estándares abiertos y es compatible con los contenidos realizados en HTML y JavaScript y distribuidos por una red IP⁸.

Liberate utiliza los estándares de internet para dotar de capacidades interactivas a dispositivos de información como la televisión.

La plataforma de software de Liberate combina estándares de internet como HTML, JavaScript, y java con estándares de la televisión digital como DVB y ATSC.

Especificación software

La plataforma esta compuesta por Liberate TV Navigator y Liberate Connect. Donde el primero es el responsable de la distribución de aplicaciones que integran interactividad de la web con la TV y el segundo ofrece servicios de gestión de la plataforma para las aplicaciones.

- Liberate TV Navigator. Es un software cliente. Permite a los operadores entregar las aplicaciones que integran la interactividad del web con un rico contenido basado en la televisión.
- Liberate Connect. Es un software servidor que permite a los operadores ofrecer a sus abonados la confiabilidad típica de una portadora que entrega servicio digital interactivo con la misma calidad que los usuarios han aprendido a esperar de la televisión.

Liberate Connect incluye:

- Liberate Datapoint, gestiona de forma fiable a los suscriptores, dispositivos e información del servicio.
- Liberate Command, proporciona una consola de gestión y configuración centralizada para todos los servidores de Liberate.
- Liberate Security, permite a los operadores de la red usar el estándar SSL (Secure Socket Layer)

6.3.4 WinK Communications

Ofrece un sistema de difusión de televisión que permite añadir interactividad a los programas que están siendo emitidos. Además ofrece un completo sistema extremo a extremo para el comercio electrónico por televisión. Recoge las respuestas de las compras y las solicitudes de información, las añade y las envía al anunciante, vendedor o programador correspondiente. Todo sobre un sistema seguro que garantiza que el usuario recibe el producto o información que ha solicitado.

La solución propuesta por Wink esta compuesta por tecnologías propietarias desarrolladas por Wink, además de soluciones de comercio electrónico y bases de datos

Especificación software

El sistema Wink está compuesto por:

- ICAP (Interactive Communicating Application Protocol) es un protocolo desarrollado por la compañía para STB de televisión actuales que carecen del hardware necesario para ejecutar un navegador HTML. El formato de ICAP también hace que sea ideal para la transmisión sobre los limitados anchos de banda típicos de los difusores analógicos.

Sin embargo, ante la llegada de la transmisión digital de banda ancha y de STB mas sofisticados, Wink está mejorando sus herramientas, servidores y sistemas de procesamiento para que soporten HTML como protocolo de aplicación.

⁸ La "RED IP", a diferencia de los actuales sistemas de comunicación, que sólo establecían redes desde las sucursales a la central, conecta con una simple y única conexión a todas las empresas con todas sus sucursales, sus clientes y sus proveedores.

- Wink Studio y Wink Server Studio, son herramientas autorizadas para el diseño de aplicaciones Wink interactivas.

Wink Studio es una herramienta de alto nivel que permite a diseñadores no técnicos crear aplicaciones de publicidad y programación interactivas. Esta basada en windows y orientada a gráficos, y permite la creación de aplicaciones interactivas sencillas.

Wink Server Studio es una herramienta de alto nivel para módulos servidores que proporciona datos actualizados a las aplicaciones Wink. Esta diseñada para que resulte mas sencillo la incorporación y actualización de datos de los sitios web y de las bases de datos.

- Wink Broadcast Server, gestiona la programación e inserción de las aplicaciones diseñadas con Wink Studio en la programación de televisión.
- Wink Client Software, permite la gestión y captura de las respuestas del espectador de las aplicaciones Wink.
- Wink Response Server y Wink Response Network, diseñados para procesar eficientemente las respuestas de los usuarios a las aplicaciones y enviarlas a los vendedores o anunciantes.

El Wink Response Server recoge los datos de respuesta de los espectadores directamente del STB y los entrega al Wink Response Network.

El Wink response Network recoge las respuestas de los espectadores, solicitudes de información y ordenes de compra y los transmite a los vendedores, anunciantes y operadores de red.

6.3.5 Worldgate

WorldGate communication proporciona servicios y tecnologías para internet y televisión.

Tecnología

La tecnología propietaria de televisión interactiva desarrollada por WorlGate se denomina Channel Hyperlinkig, y permite al usuario el acceso directo a un sitio web asociado a la televisión o a un programa sin necesidad de escribir la URL⁷.

Además WorlGate se basa en la arquitectura Thin-Client⁸ y en el procesamiento centralizado en la cabecera, de forma que el grueso del procesado de datos tiene lugar en el servidor y el consumo de recursos en el cliente es mínimo.

WorldGate proporciona dos plataformas de servicio dependiendo de la configuración del sistema de cable y de la demanda anticipada de los suscriptores:

- Plataforma de servicio analógica.
- Plataforma de servicio digital.

Productos y servicios

Las soluciones de televisión interactiva de WorldGate, proporcionan a los operadores de cable una completa oferta de productos TVi para los suscriptores de cable de fácil acceso y bajo costo:

⁷ Siglas de Uniform Resource Locator. Es la dirección de un sitio o de una fuente, normalmente un directorio o un fichero, en el World Wide Web y la convención que utilizan los navegadores para encontrar ficheros y otros servicios distantes.

⁸ Se trata de un modelo informático por el cual las aplicaciones se despliegan, gestionan, soportan y ejecutan íntegramente en el servidor.

- **CableWare.** Es una plataforma middleware de estándares abiertos que permite el despliegue de varias aplicaciones TVI, incluyendo presentaciones Flash, con gran flexibilidad y requerimiento mínimo de espacio en el STB. CableWare ha sido diseñado usando el interfaz de lanzamiento de aplicaciones de WorldGate (Wall), que facilita la provisión de múltiples aplicaciones de TVI empleando la tecnología Thin-Client, un método de cabecera centralizada para el despliegue de servicios interactivos sobre una arquitectura de TV cable existente.
- **WorldGate interactive service,** proporciona una variedad de aplicaciones de TVI, a través de STB de cable.
- **TVGateway,** ofrece una plataforma software de televisión interactiva basada en estándares abiertos.

6.4 Estándares de televisión interactiva

6.4.1 OpenCable

Establece una serie de especificaciones de interfaz que definen las características de una generación de Set-Top Box de cable digitales desplegados por los cable-operadores.

Según la especificación hardware de OpenCable, un Set-Top Box consistirá en dos módulos básicos: un dispositivo de navegación (al Set-Top Box propiamente dicho) y el módulo externo de seguridad que se conoce como punto de despliegue POD (Point of Deployment).

El módulo POD permite al consumidor comprar el Set-Top Box conforme a OpenCable que desee, y conectarlo a su sistema de entretenimiento igual que cualquier otro equipo electrónico de consumo, los dispositivos conformes OpenCable contienen una ranura libre para el módulo POD, que el consumidor puede obtener de su operador de cable. De esta forma, si el cliente tiene que trasladarse a otra zona del país servida por un operador de cable diferente, puede devolver sencillamente el módulo POD a su operador de cable actual, llevarse el mismo Set-Top Box y volver a conectarse en su nueva localización mediante un nuevo módulo POD proporcionado por su nuevo proveedor de cable.

Especificación software

OpenCable establece también un conjunto de interfaces de programación de aplicación (APIs) software, que se combinan para constituir la plataforma de aplicaciones de OpenCable u OCAP.

OCAP es el componente de software de OpenCable. Es una capa middleware, que reside entre el hardware (Set-Top Box) y el software (aplicaciones servicios y contenidos) y se comporta como un tipo de enlace traductor entre el Set-Top Box y las aplicaciones que se ejecutan en él. Realiza una función similar a la del sistema operativo en una PC.

OCAP reside funcionalmente por encima del sistema operativo del terminal o receptor OpenCable. Proporciona una interfaz que permite portabilidad de aplicaciones, lo que implica que las aplicaciones escritas para OpenCable puedan ejecutarse también en cualquier red o en cualquier plataforma hardware.

6.4.2 Multimedia Home Platform (MHP)

En Europa, el organismo de normalización más influyente es el consorcio DVB (Digital Video Broadcasting). Este organismo, surgió con el objetivo de normalizar todos los aspectos técnicos con la finalidad de compartir esfuerzos de desarrollo y reducir costos. En 1996, la Unión Europea impulsó los trabajos del DVB en el terreno de la normalización de la terminal de usuario, y en Febrero de 2000 se publicó el primer resultado: la especificación MHP (Multimedia Home Platform), que ofrece una solución para la ejecución de aplicaciones interactivas y para la presentación de contenidos de Internet en el receptor de televisión.

MHP es el estándar de televisión interactiva propuesto por los organismos de estandarización europeos. Se basa en un concepto de televisión interactiva centrado en la televisión, y es el resultado de la convergencia natural de los receptores utilizados en la televisión digital, como Set-Top Box multimedia. Así podemos decir que el estándar MHP define un interfaz genérico entre las aplicaciones digitales interactivas y los terminales en los que se ejecutan dichas aplicaciones.

Además el estándar se ha definido para todo tipo de medio de transmisión, admitiendo televisión por satélite, cable, terrestre, y para cualquier plataforma existente en el mercado.

El MHP busca la creación de un mercado horizontal de Set-Top Box a través de una plataforma común para TVI.

Con su aplicación se persigue:

- Maximizar la interoperabilidad a través de las fronteras geográficas y entre las diversas aplicaciones y servicios.
- Garantizar la retrocompatibilidad con los dispositivos ya existentes (analógicos o digitales) registrados.
- Asegurar la portabilidad de las aplicaciones.
- Favorecer el auto-diagnóstico y la inmunidad frente a los virus o posibles aplicaciones "maliciosas".
- Fortalecer la robustez y tolerancia a fallos del sistema.
- Posibilitar la telecarga como mecanismo de actualización progresiva del parque de receptores.

Especificación hardware

A fin de garantizar la interoperabilidad entre dispositivos, el estándar MHP no define una arquitectura hardware específica, como tampoco hace referencia a los interfaces de acceso condicional u otros detalles específicos de la implementación hardware.

Todas las características se dejan en manos de los fabricantes de Set-Top Box o a los proveedores de middleware. Si podemos definir, no obstante, algunos requisitos mínimos que debe cumplir un Set-Top Box compatible con el estándar MHP:

- RAM de 16MB
- Memoria flash de 16MB
- CPU de 255 MHz

Especificación software

El software MHP sirve de interfaz para los Set-Top Box permitiendo la unión de los contenidos de internet (y todas las aplicaciones que ofrece) con los contenidos de la televisión tradicional.

Las especificaciones software de MHP se basa en java y está constituida por diversos niveles:

- DLI (Device Layer Interface) interfaz entre la máquina virtual y el sistema operativo propietario del fabricante, que es el encargado final de controlar los dispositivos.
- Máquina virtual. Que constituye el elemento básico de la plataforma, que facilitan la funcionalidad concreta (navegación, acceso condicional, sintonización).
- Una interfaz denominada API entre ambos elementos, basada en Personal Java.
- Un Lenguaje de alto nivel en el que escribir las aplicaciones que funcionan sobre la máquina virtual.

La plataforma MHP propuesta por DVB va a permitir por primera vez una plataforma universal para las aplicaciones de TVI.

6.4.3 DTV Application Software Environment (DASE)

El ambiente de software de aplicación de DTV (DASE) es un ambicioso esfuerzo de ATSC para definir una plataforma para funciones avanzadas del receptor. Como tal, formará la base para una amplia gama de nuevos servicios. La forma de DASE aparece como si el contenido de programación interactiva corriera en un receptor común. Este receptor común contiene una arquitectura bien definida, un modelo de ejecución, una sintaxis y una semántica. Los beneficios de este ambiente incluye lo siguiente:

- Tiene la capacidad para escribir el contenido una vez y funcionar con éxito en todos los receptores.
- Los fabricantes de equipos electrónicos tienen la libertad para elegir independientemente el hardware y el sistema operativo para sus receptores.
- Los autores del contenido y de la aplicación tienen la seguridad que su contenido será decodificado y mostrado uniformemente en todas las marcas de receptores.
- Todos los receptores tienen ciertas funciones y características comunes, tales como mando a distancia, selección de servicio, decodificación MPEG.

Conceptos generales

Hay ciertos bloques fundamentales en el sistema DASE, el más básico es:

- Aplicación. Información que expresa el funcionamiento (es decir, un programa).
- Ambiente de aplicación. Un sistema que interpreta una aplicación para producir un funcionamiento específico.

Para desarrollar un servicio interactivo avanzado, hay tres accesos básicos de la aplicación:

- Acceso integrado de la aplicación, donde la aplicación se instala previamente en el receptor. Tal servicio es generalmente no-portable y requiere ser re-implementado o recargado por los nuevos receptores o la nueva tecnología. Como tal, es difícil cambiar o innovar con nuevas aplicaciones. Este acceso es muy estable, pero permite solamente características simples.
- Acceso de la aplicación thin-client, donde la aplicación es compartida entre un servidor y el receptor. La aplicación es ejecutada o interpretada en un servidor alejado. Este acceso requiere un low-latency⁹, alto-ancho de banda, comunicación con el canal punto a punto. Típicamente no escala bien.
- Acceso de la aplicación full-client¹⁰, donde la aplicación está instalada dinámicamente en el receptor a través de la transmisión o un canal punto a punto. La aplicación es ejecutada o interpretada en el receptor. Este sistema requiere más recursos y mayor funcionamiento que el acceso thin-client, pero ofrece significativamente mayor flexibilidad.

Pero hay desafíos para la implementación de alguno de estos accesos:

- Instalación de la aplicación. Si se instala previamente la aplicación, en un receptor es difícil innovar. Si la aplicación es instalada dinámicamente, debe ser descargada al receptor y ser preparada para procesar en suficiente tiempo para estar lista para la presentación. Para el estándar DASE, la aplicación se descarga a través del flujo de transmisión.
- Forma de aplicación. Una aplicación puede tomar una gama de formas dividida en dos categorías: procesal y declarativo. Si son procesales, las opciones incluyen código compilado nativo, código de bytes portable (p-code) y el código fuente. Si son declarativas, las opciones incluyen HTML, XHTML, SMIL, SVG, XML y MHEG.

⁹ Latency. El tiempo transcurrido entre la transmisión y recepción de datos en una red.

¹⁰ Cliente que dispone de un servidor en su PC local.

- **Ambiente.** El diseñador del sistema debe identificar los recursos "nativos" que una aplicación puede consultar o utilizar. Los ejemplos de recursos incluyen gráficos, vídeo, audio, entradas de usuario (remote/keyboard), broadcast stream, network, memoria y funciones del procesador. Otros problemas se relacionan con el método usado para referirse o para utilizar a estos recursos. Si el mecanismo es propietario, las aplicaciones no pueden seguir siendo portables.

Hay tres tipos básicos de aplicaciones DASE:

- **Aplicaciones declarativas, incluyendo:**
 1. del tipo declarativo-contenido (XDMML y de XHTML),
 2. del tipo soporte-contenido (CSS, ECMAScript, gráficos y otros),
 3. documento-modelo objeto (DOM) y
 4. declarativo-ambiente de aplicación (el cual controla el funcionamiento del sistema).
- **Usos procesales, incluyendo:**
 1. del tipo procesal-contenido (formato de archivo de clase Java),
 2. del tipo soporte-contenido (gráficos, audio, vídeo etcétera) y
 3. procesal-ambiente de aplicación (maquina virtual de java, APIs y funcionamiento del sistema).
- **aplicaciones híbridas, incluyendo:**
 1. declarativo usando contenido procesal (incrustado en el contenido del objeto activo)
 2. procesal usando contenido declarativo (sintetiza el contenido del margen de beneficio, estilo y contenido de escritura).

El API es una plataforma-independiente abstracta de las bibliotecas del software del receptor y de las funciones incorporadas tales como entrada de control-remoto, sistemas de comunicación, gráficos y otras características.

Específicamente, las categorías API de DASE incluyen:

- sistemas de comunicación - navegación, eventos de información, selección de programación y servicio de transmisión de datos.
- dirección de contenido - audio/vídeo y decodificador de medios, control de playback, control de audio, presentación de vídeo, presentación y sincronización, y decodificar/player servicios de sincronización.
- presentación e interfaz de usuario - presentación de los gráficos, dirección de la fuente y del color, y servicios de entrada del usuario.
- dirección de recursos y aplicación - ciclo de vida de la aplicación, registro, verificación y servicios de estado (diagnostico) de la aplicación.
- dirección de seguridad - autenticación, servicios de seguridad (política) y firma-comprobación (certificado-intercambio).

La arquitectura del ambiente declarativo de DASE se construye alrededor de seis elementos básicos:

- **Lenguaje del margen de beneficio,** que define la estructura de una presentación.
- **Estilo del lenguaje** que define los aspectos de presentación tales como posición y color.
- **Modelo de eventos,** que define los medios para la interacción con una presentación.
- **Modelo del documento objeto,** que define los medios para programación y manipulación de una presentación.
- **Tipos de medios,** que definen que tipo de contenido se puede utilizar en una presentación.
- **Localización** que define como encontrar recursos.

6.5 Servicios que ofrece la televisión digital

6.5.1 Servicios y aplicaciones

La TV digital ofrece varios niveles de servicios, si se pueden llamar así:

- El primero de ellos es un servicio de recepción de TV abierta de mejor calidad, que la actual televisión que emplea señales analógicas, en su presentación de definición estándar SDTV (Standar Definition). Sin dejar a un lado la opción de verla en una relación de aspecto diferente al tradicional como lo es 16:9.
- Un segundo nivel es la opción de funciones de interactividad, sobre la cual se sustentará buena parte de los negocios de comercio electrónico que respalden las operaciones de TV abierta, tradicionalmente soportadas por el modelo de negocios gobernado por los anunciantes.
- En tercer lugar, las ventajas en calidad, aspecto de la imagen y, riqueza de contenido visual y sonoro de la televisión de alta definición o HDTV.
- Y por último, la transmisión de información o datos, que hará mucho más versátil el sistema digital. A parte de esto, se encuentra el componente de la transmisión de señales a receptores móviles, manzana de la discordia entre quienes abogan por una u otra alternativa de televisión digital.

Los servicios que ofrece la plataforma de TV digital se pueden clasificar en:

- Servicios de acceso a internet.
- Servicios audiovisuales, basados en la emisión y recepción de señales de TV, al gusto del cliente.
- Servicios interactivos. Para ello la TV digital incorpora un canal de retorno, inexistente en la televisión analógica convencional.

6.5.1.1 Internet en DTV.

WebTV es el término general para una categoría de productos que permiten navegar en la red desde el televisor. Son aparatos un poco más pequeños que un reproductor de video que incorporan un MODEM. Conectados a la red telefónica, proporcionan un acceso rápido y se manejan con un mando a distancia y un pequeño teclado inalámbrico.

Los servicios como WebTV multiplican la utilidad de una televisión comercial permitiendo a cualquier persona navegar instantáneamente por la red con un sencillo control remoto. Este tipo de aparatos permiten acceder a internet a través de la línea telefónica y se manejan con un mando a distancia. La innovación no es solo por haber encontrado un medio más rápido y sencillo de navegar que la actual PC, sino también por sus posibilidades "televisivas". Al poder ver la televisión y tener acceso a la red simultáneamente. En un estudio realizado por la firma comScore Media Metrix determinó que en E.U.A el 48 % de los usuarios de Internet ve televisión y tiene una computadora en el mismo espacio, que el 47 % son consumidores de televisión regulares pero no tienen una computadora en el mismo espacio. Apenas el 5 % restante de usuarios de internet afirma que no ve televisión, en esta investigación, también se conoció que el 63% estaba suscrito a un servicio de cable, el 22% a televisión satelital. Los expertos ven en este aparato el futuro de la televisión interactiva. Se podría recoger casi instantáneamente la información que los espectadores enviaron y a su vez elegir el programa de emisión según los gustos de la mayoría.

6.5.1.2 Funcionamiento

En el sistema tradicional de televisión la información viaja a través de ondas hasta un aparato receptor o televisor que las traduce en imágenes y sonido en un monitor.

El televidente recibe datos y por lo tanto, no esta en capacidad de efectuar ningún tipo de retroalimentación. Es decir, la comunicación es de una sola vía y el usuario es un ser pasivo.

En cambio, en el modelo de WebTV el aparato de televisión se convierte en una terminal de navegación a través de un decodificador (Set-Top box), que realmente es un MODEM conectado a la red del sistema de televisión. A través de él, el usuario establece el enlace con unos portales de internet para TV que son la puerta de acceso del espectador a las páginas web disponibles en el ciberespacio.

Para hacer esto posible, el Set-Top Box viene acompañado con un control remoto que habilita las aplicaciones de internet en la televisión y con un pequeño teclado inalámbrico de características y diseño similares a los de una computadora personal. Ambas herramientas permiten al televidente acceder a aplicaciones de internet como el correo electrónico o el navegador por la red.

6.5.1.3 Algunas plataformas de internet

OPENTV. El software de OpenTV, uno de los más utilizados por las plataformas de televisión digitales en el mundo, incluye el servicio Spyglass Prism¹¹ que se basa en un servidor que reorganiza y reformatea el contenido web estándar de manera que sea visualizable a través de los decodificadores, o STB. El sistema permite a los operadores proveer de acceso a la Web sin necesidad de tener que utilizar STB más potentes, que son también más caros. Así se supera uno de los grandes desafíos que tiene la navegación a través de la televisión: reconocer los mismos estándares utilizados en el PC, como formatos Flash o Applet de Java.

SIMBIOSIS. QuieroTV ha sido la primera televisión digital terrestre de España y de Europa en ofrecer acceso a internet a través de la televisión con bastante éxito. La señal se recibe en un STB que permite el acceso y navegación por Internet, correo electrónico, envío de mensajes a móviles, un portal de internet adaptado a la televisión donde se puede navegar por la Red y seguir viendo simultáneamente los programas de televisión. Así, se puede ver el anuncio de un producto comercial mientras busca información en Internet e, incluso, comprar ese mismo producto.

La señal de respuesta a los servicios interactivos se realiza a través de la señal telefónica. El STB de QuieroTV lleva incorporado un módem de 56 K y utiliza el sistema OpenTV. Otra característica de su STB es el la tarjeta bancaria, que permite el pago de las compras realizadas a través de Internet, los programas de pago o la realización de operaciones financieras.

MUY FÁCIL. Freedomland ITN primera compañía de acceso a Internet por televisión. El acceso a la Red se realiza a través del equipo de navegación STB. Su STB cuenta con un módem de 56 K analógico para conectarse por la línea de teléfono. Su sistema es compatible con los estándares actuales de la Red. Cuenta con una resolución de 640 x 400 pixels y acepta Flash 3.0, formatos de audio, como el MP3, así como algunos formatos de vídeo. Su STB acepta también los formatos de seguridad SSL 2.0 y SSL 3.0, vitales a la hora de realizar transacciones electrónicas.

6.5.2 Servicios audiovisuales

6.5.2.1 Canal mosaico

El Canal Mosaico es un canal promocional e informativo, compuesto por varias pantallas en las que se muestra la programación de los distintos canales de televisión que componen la oferta de la plataforma. Todas las plataformas digitales disponen de un Canal Mosaico y lo utilizan para informar a los abonados sobre:

- La programación. Gracias a las distintas pantallas que forman el Canal Mosaico, el usuario puede visualizar toda la programación de la plataforma. Por otro lado, también se emiten constantemente promociones, como por ejemplo, los últimos estrenos de cine, eventos deportivos, etc. en pay per view.

¹¹ La tecnología Spyglass Prism, se basa en un servidor para reorganizar y formatear el contenido web estándar al formato del televisor, el teléfono móvil u otros dispositivos, sin utilizar decodificadores más potentes.

- Este es el canal idóneo para formar a los usuarios sobre las posibilidades de la plataforma. Sobre todo en cuanto a los servicios interactivos. Para que en todo momento, el usuario pueda informarse de su funcionamiento, las novedades, etc.

6.5.2.2 Pay per view

Existen tres maneras de ofrecer contenidos en PPV:

1. VOD (Video On Demand): También llamado Video Bajo Demanda. Este sistema permite al usuario de la plataforma pedir (comprar) un contenido de TV. Una vez adquirido, este contenido es transmitido (solo a él) en el momento en el que él decida.

Los requerimientos para poder transmitir contenidos con VOD son:

- a. Posibilidad de transmitir contenidos individualizados. Es preciso disponer de un ancho de banda considerable y de una red cuya topología permita la transmisión de un contenido a un abonado en concreto. Actualmente sólo el cable, permite éste tipo de servicios. Con la inclusión de un disco duro en el Set-Top box, el VOD podrá ser también posible en medios como el satélite y el terrestre.
 - b. Servidor de vídeo de altas prestaciones. Todavía no se han desarrollado servidores de vídeo que sean capaces de atender un número suficiente de peticiones de clientes como para que un servicio de VOD sea rentable. A medida que esta tecnología avance empezaremos a ver más implementaciones comerciales de PPV con VOD.
2. nVOD (near Video On Demand): Es una solución intermedia hasta que los problemas de implementación del VOD se solucionen. Este sistema permite al usuario contratar diferentes películas y escoger cuándo verla. Consiste en disponer de un número de canales que transmiten continuamente películas. Algunos de estos pueden transmitir la misma película pero con diferentes horarios. Así el usuario puede escoger cuándo verla.
 3. Descarga de películas en un disco duro: Con la aparición de Set-Top Boxes con disco duro, también se presenta la posibilidad de descargar de películas en él y de esta manera ofrecer al usuario la posibilidad de comprarlas y verlas cuando quiera. También se podría provocar la descarga cuando el usuario compra la película.

Por supuesto, aquí también se dispone de funciones tipo VCR (pausa, rebobinado, etc.). Esta solución podría permitir ofrecer contenidos en VOD a plataformas de TV digital que utilicen medios como el satélite o la transmisión terrestre.

Los nuevos Set-Top Boxes han ayudado enormemente a la popularización de este servicio al incrementar la facilidad de su uso. En términos generales, el abonado selecciona una película, o un evento deportivo o cualquier otro tipo de programa, y simplemente pulsando el mando a distancia tiene acceso a un sistema de autorización a través del cual la orden se realiza, y se paga. Hay varios sistemas de pago: cargo en la factura o con tarjeta de crédito si el Set-Top Box dispone de ranura para tarjetas.

También se pueden comprar puntos con antelación, que más tarde se pueden utilizar para la compra de productos PPV. Con este último sistema, no hace falta un canal de retorno para efectuar la compra ya que la tarjeta del abonado es la que gestiona los puntos y los permisos de visión de contenidos.

6.5.2.3 Digital Video Recorder (DVR)

El Personal Video Recorder (PVR) o Digital Video Recorder (DVR) consiste en un vídeo digital capaz de almacenar un número de horas determinadas de programación en el disco duro del Set-Top Box.

Además, este servicio tiene otras funciones como la de adelantar, rebobinar o parar un programa de televisión.

Mediante el software específico el usuario puede:

1. Grabar programas en el disco duro del Set-Top Box.
2. Skip de cortes publicitarios.
3. Realizar búsquedas para que el Personal Video Recorder encuentre y/o grabe los programas favoritos del usuario.

La búsqueda se puede realizar en función de:

- Título del programa.
 - Actores
 - Directores
 - Género
 - Eventos deportivos
4. Parar, adelantar, rebobinar cualquier programa.
 5. Controlar o restringir el acceso a determinados programas.

Por otro lado, si el usuario está viendo una película y por cualquier motivo, no puede o no quiere seguir viéndola, puede pararla y continuar donde la dejó cuando vuelva.

6.5.3 Servicios interactivos

6.5.3.1 Quizz

Consiste en una aplicación interactiva que permite al usuario participar en determinados concursos. Existen distintos formatos o modalidades:

- Quizz interactivo integrado en un canal pero no con el contenido de un canal. Son sencillos concursos en los que los usuarios participan en sorteos. Estos concursos no están relacionados con el programa que se está transmitiendo en esos momentos.
- Quizz interactivo integrado en un canal y en su contenido. Las preguntas de este tipo de quizz están relacionadas con el contenido del programa que se está emitiendo.

6.5.3.2 Banners

Este formato publicitario que se utiliza con gran asiduidad en Internet también se está utilizando, cada vez más, en la televisión digital. Los usos que se hacen de los banners pueden ir desde un sencillo quizz interactivo hasta un enlace a un microsite. Pero además los banners se pueden presentar:

- Banners meramente expositivos: este tipo de banners son meramente presenciales, puesto que no son clicables.
- Banners clicables: estos banners permiten al usuario enlazar con otras páginas o microsities, dentro del portal o de la misma plataforma digital.

6.5.3.3 Juegos

La posibilidad de jugar en la televisión ya existía anteriormente con los primeros ordenadores Spectrum sin monitor o con las posteriores consolas (Nintendo, Sega, PlayStation, Dreamcast, etc.).

Los entornos PC y las videoconsolas se mantienen con fuerza en el mercado, sobre todo gracias a los avances tecnológicos de los últimos años. Sin embargo, con la aparición de Internet y el WWW fueron muchos los que supusieron que los juegos en red serían los de mayor éxito. Aunque esto no ha sido así debido, sobre todo, al escaso ancho de banda disponible.

Actualmente, el incremento de penetración de Set-Top boxes con, altas prestaciones gráficas, capacidad de proceso, almacenamiento y acceso a redes de datos, ha propiciado un mayor uso de los juegos a través del televisor.

La televisión digital ofrece una serie de posibilidades:

- **Juegos multiusuario:** Juegos en los que pueden tomar parte varios usuarios a la vez. El cable es el medio ideal para ofrecer este servicio, debido a la presencia de un canal de retorno permanente y a que no está utilizando el propio cable sin ocupar la línea telefónica por ejemplo.
- **Canales temáticos especializados en videojuegos:** el usuario dispone de una serie de canales exclusivamente de juegos.
- **Juegos como complemento de un canal temático:** Muchas veces se suelen utilizar determinados programas para dotarlos de interactividad. Estos programas interactivos permiten a los usuarios participar desde sus hogares.
- **Juegos incluidos dentro de un spot interactivo:** Los usuarios pueden participar en un juego interactivo que les permita participar en sorteos por ejemplo.

6.5.3.4 Anuncios interactivos

Mediante esta aplicación el usuario puede, dependiendo del spot: pedir información, catálogos, solicitar muestras de producto, participar en sorteos, jugar, hacer una donación, etc.

6.5.3.5 t-commerce

El t-commerce o el comercio electrónico a través del televisor es cada vez más frecuente. El usuario puede en todo momento, incluso en determinados casos sin dejar de ver el programa que está viendo, comprar desde el sofá de casa sin necesidad de levantarse ni de llamar por teléfono. La única herramienta que necesita el usuario es el mando a distancia y tener conectado el descodificador a la red telefónica, en el caso de que el usuario no esté abonado a un cableoperador.

El t-commerce puede presentarse de diferentes formas. Muchas de estas acciones de t-commerce buscan una respuesta inmediata, una compra impulsiva. Son muchas ya las experiencias de t-commerce que han desarrollado distintas plataformas de todo el mundo. Las acciones de t-commerce más frecuentes son:

- **Merchandising:** Durante la emisión de un programa, la plataforma puede ofrecer artículos relacionados con dicho programa. Venta de productos en un determinado programa, evento deportivo, musical, etc.
- **Tiendas on-line:** permite a los usuarios hacer compras en tiendas virtuales.

6.5.3.6 Multipantalla

Aplicación interactiva multipantalla accesible 24 horas al día, en la que se comunica las excelencias del producto en función del criterio editorial del anunciante. También puede realizar operaciones bancarias (consultar saldos, movimientos de cuenta del usuario, cambiar el número personal), servicios de compra venta de acciones, simulaciones, concursos.

6.5.4 Datacasting

Datacasting es el servicio de envío de datos a computadoras personales. Los datos pueden incluir cualquier tipo de información: datos financieros, música, videos cortos o de largo metraje, software, contenido interactivo tal como juegos o material para el aprendizaje a distancia, por sólo nombrar algunos de ellos. En el caso de video en vivo o datos muy sensibles al factor tiempo, tales como los precios de acciones, los datos pueden ser usados inmediatamente por la computadora que los recibe. Información

adicional es enviada al disco duro del receptor para su posterior uso, tal como software downloads. (Uno de los aspectos atrayentes de la datacasting es su timing. En vista de que los datos con frecuencia son enviados para su uso posterior, pueden ser transmitidos por la noche, cuando el sistema de transmisión del operador se encuentra relativamente libre, generando entonces ingresos a partir de un equipo y un ancho de banda no utilizados de otra forma.)

Haciendo trabajar a la tecnología: Añadir datacasting a un sitio de transmisión, ya sea terrestre, por cable o satélite, es bien sencillo. Para el sistema, los datos se parecen a cualquier otro flujo de información. Los datos son recibidos por el proveedor de contenido y luego canalizados a través de un múltiplex hacia fuera por medio de la red de transmisión.

La parte receptora deberá habilitar una computadora personal para recibir una transmisión de datacast. Las transmisiones terrestres o satelitales necesitan una simple tarjeta receptora en la computadora a fin de que sintonice la frecuencia adecuada. Para una transmisión de cable, un cable módem común conecta la computadora con la infraestructura de transmisión de datos.

6.6 Situación de la televisión digital en México

El 5 de diciembre de 1997, la SCT otorgó permisos para la transmisión de televisión digital y con apoyo en ellos, el 16 de diciembre del mismo año se llevó a cabo la primera transmisión experimental de televisión digital en alta definición; debe señalarse que, también a nivel experimental, en enero de 1998 en la Ciudad de México se realizó la primera transmisión digital en alta definición de un partido de fútbol en vivo.

La cadena de televisión TV Azteca el 16 de diciembre de 1997 transmitió la primera señal televisiva en tecnología de alta definición (HDTV); fue la primera vez en toda América Latina. La transmisión de TV Azteca en HDTV fue posible gracias a la Harris Corp. y al canal WRAL-HD (afiliada a la CBS) de Carolina del Norte. La empresa Harris facilitó el transmisor y la antena para el proyecto, mientras que WRAL-HD envió a México un codificador, un decodificador, un demodulador, maquinas de cinta digital, cintas y dispositivos de representación.

Televisa, el 25 de enero de 1998 realiza la primera transmisión en la ciudad de México de un partido de fútbol por el canal 48 con recepción en centros comerciales, seminarios y universidades.

El proceso que inició México en 1996 para la migración hacia la televisión digital, ha logrado un avance significativo con la firma del Memorandum de Entendimiento entre México y los Estados Unidos de América el 22 de julio de 1998, en él se formalizaron satisfactoriamente los procedimientos para el uso de las respectivas frecuencias que serán destinadas a la televisión digital por cada país a lo largo de 235 km. de frontera.

Directivos de Televisa y del Comité Internacional de Sistemas en Televisión Avanzada estiman que a más tardar en dos años (año 2005) habrá televisión digital en las principales ciudades del país, pero será de consumo masivo en alrededor de 10 o 15 años. Actualmente existen tres canales particulares autorizados por la SCT y que sirven como plataforma para pruebas y experimentación, mediante los cuales se transmiten programas producidos o realizados en formato digital o de alta definición: el canal 48 de Televisa, el 53 de TV Azteca y el 23 de Tijuana que reenvía la señal del canal 6 de esa entidad.

En los tres canales digitales, se han hecho experimentaciones con los estándares ATSC y DVB-T de definición y transmisión de la televisión digital. Se están analizando las ventajas y desventajas de cada uno de los dos estándares de televisión digital a nivel mundial, que compiten por ganar mercado en el mundo.

En México, la inversión inicial en televisión digital por parte de Telesistema Mexicano es de 60 millones de dólares, sólo en infraestructura de transmisión y producción. Además se debe tomar el tiempo en que se de la migración de las televisoras análogas en México a las de alta definición, que se estima en 10 o

15 años. Esto requiere nuevas transmisoras, nuevos televisores y receptores especiales. En México, los monitores más nuevos ya tienen la capacidad de recibir tanto recepción analógica de resolución estándar (SDTV con 480 líneas) o de alta definición (HDTV con 1080 líneas). El costo aproximado del equipo más barato cuesta aproximadamente 30 mil pesos, (3 mil dólares). Además se requiere de un Set-Top Box.

La industria está mirando muy de cerca los procedimientos de toma de decisión en otras partes, particularmente en el Brasil, y parece ser un reconocimiento entre ingenieros de que la transmisión DVB-T ofrece una mejor solución.

Importantes radiodifusores, han aconsejado al gobierno que ninguna decisión sobre la adopción del estándar en México fuera tomada hasta 2004/2005, momento en el cual el futuro de ATSC en los E.U.A. debe ser claro. La implicación es: si ATSC es ratificado en los E.U.A., México debería también adoptarlo. Si ATSC no se adopta, o si DVB-T se introduce junto a él, o en lugar de él, entonces México está probablemente libre para adoptar DVB-T.

6.6.1 Respuesta de DVB¹² y ATSC¹³ a cuestionario enviado por la SCT

ATSC y DVB enviaron un informe a las autoridades mexicanas en las que describen sus sistemas, tratando de mostrarlo como la mejor opción. Entre lo que informan se tiene:

¿Cuál es el comportamiento del estándar para las condiciones particulares de la ciudad de México?

ATSC: La ciudad de México representa desafíos de cobertura similares a varias ciudades estadounidenses, y pruebas de campo en Chicago y Nueva York nos dan la confianza en la predicción que el Estándar ATSC es totalmente capaz de proporcionar un magnífico servicio de DTV en la ciudad de México. La Ciudad de México, como otras grandes áreas metropolitanas, tiene muchos edificios altos, los cuales dan como resultado áreas entre edificios donde la recepción de radiofrecuencia es difícil debido a la obstrucción de la señal y fantasmas (ghosting) severo. Esto es similar a las situaciones que han sido evaluadas en Chicago y Nueva York. Las montañas circundantes a la Ciudad de México, además pueden complicar la recepción.

Los radiodifusores en aquellas dos ciudades estadounidenses estuvieron preocupados respecto a la recepción de DTV tal como están radiodifusores en la Ciudad de México. Los radiodifusores en ambas ciudades estuvieron muy satisfechos con los resultados de la prueba, puesto que la cobertura alcanzada fue buena. Con uno u otro sistema de televisión digital EL ATSC o DVB, habrá sitios donde la recepción DTV no es posible. La solución para tales sitios, donde el fracaso de la recepción por lo general es causado por una escasez de suficiente fuerza de campo, es recibir la señal de televisión por cable, o directo del satélite al hogar. Creemos que va a hacer el sistema ATSC la mejor opción para la Ciudad de México y para todo México.

DVB: La DVB-T fundamentalmente ha sido diseñada para aumentar la cobertura sobre servicios existentes análogos con mucho menos potencia. En particular, la DVB-T ha sido diseñada para funcionar en el tipo de ambiente multitrayecto encontrado con los altos edificios en la Ciudad de México. La recepción en los altos edificios como en viviendas de bajo nivel será posible utilizando este sistema independientemente de las condiciones de multitrayecto. Esto ha sido probado en el Reino Unido, que ahora tiene un servicio de DVB-T nacional que provee hasta 36 canales de televisión a todos los tipos de viviendas. La recepción perfecta es ahora posible en edificios y ambientes, que antes sólo podían recibir cuadros con fantasmas extremo. La recepción que usa sólo antenas colocadas encima de la TV, es ahora común.

¹² Issues to be considered for the Evaluation of a Standard for Digital Television.

DVB answers to Mexico's questionnaire. October 24, 1999

¹³ Issues to be considered for the Evaluation of a Standard for Digital Television.

ATSC answers to Mexico's questionnaire. October 21, 1999

Las pruebas de campo en Singapur, Australia y Hong Kong también han mostrado que es posible utilizar DVB-T. Esto también debería ser notable que recientes comparaciones en pruebas de campo en E.U.A. por el grupo Sinclair Broadcasting ha probado el funcionamiento superior de DVB-T sobre 8-VSB en estas circunstancias.

Si México adopta DVB, un estándar diferente sería usado por la frontera común entre México y los Estados Unidos ¿Cuáles son los costos económicos y tecnológicos asociados con la necesidad de tener receptores que puedan ser capaces de descifrar ATSC Y DVB, así como necesidades de transmisión para manejar ambas normas?

ATSC: En el lado de la transmisión, los castigos de costo por transmisores más poderosos y filtros en proporción con más alta potencia que manejan pendientes mas grandes tendrían que ser determinadas por los fabricantes, pero nosotros esperaríamos gastos considerablemente más altos con el acercamiento de DVB/COFDM.

Sobre el lado del receptor, si México usara el sistema DVB, sería poco realista esperar que consumidores estadounidenses dentro de la gama de señales transmitidas de México compren un segundo receptor HDTV o DTV para obtener programación mexicana. Así, transmisiones mexicanas y sus anunciantes no tendrían sus programas de televisión o los servicios de datos alcanzando a la audiencia estadounidense que ellos están acostumbrados a alcanzar con nuestros servicios analógicos comunes ATSC. Cualquier tipo de receptor dual sería muy caro debido:

1. El costo adicional y la complejidad de tales receptores y
2. Debido al aumento del costo asociado con los volúmenes de producción muy limitados de un receptor híbrido.

Más allá de los problemas inherentes en la adopción de un esquema de modulación diferente, la adopción mexicana total del estándar DVB invocaría a una multitud de problemas de incompatibilidad, como la necesidad de receptores únicos y caros que combinarían 50 Hz DVB con 60 Hz ATSC; una resolución temporal (50 Hz) que sería un paso hacia atrás del servicio análogo de hoy; una necesidad costosa que perjudicaría calidad y conversiones de formato requeridas por material de programa compartido con E.U.A. etc.

DVB: En tal situación los receptores de DVB-T deberían ser compatibles con programas transmitidos en ATSC. Por lo tanto deberían necesariamente:

1. Tener dos entradas y sus correspondientes front end.
2. Decodifique formatos HD.
3. Ser programado de tal modo que debería ser capaz de leer e implementar los servicios de información ATSC.

Técnicamente, esto debería ser un doble receptor front-end (o triple si el satélite también debe ser recibido)

La parte de decodificación es aún más fácil para realizar, dado que un miembro de DVB, STMicroElectronics, ya produce chip-set decodificando HD y que es capaz de decodificar DVB como ATSC. Tales receptores contarían con alta calidad debido al número limitado que serían producidos.

Para transmisores. La inversión suplementaria para transmisión también es limitada. Seguramente muy pequeño comparado a la inversión necesaria para poner en practica HD.

Para el resto, teniendo en cuenta que los programas de DVB-T deberían ser transmitidos en diferentes múltiplex que ATSC, no debería haber ningunos gastos-extra para los transmisores.

6.7 La televisión en la UNAM

La UNAM tiene cuatro maneras de transmitir sus programas por televisión:

- a. **Tiempos oficiales de RTC.** La UNAM transmite programas de televisión por todos los canales de señal abierta nacionales. Lo hace a través de los tiempos oficiales que coordina la Secretaría de Gobernación, por medio de RTC (Radio, Televisión y Cinematografía).
- b. **Tiempos convenidos con televisoras.** La UNAM mantiene convenios específicos de transmisión con algunas televisoras nacionales, estatales e internacionales, como: Televisión Metropolitana, Canal 22, TV Mexiquense y la Asociación de Televisión Educativa Iberoamericana, ATEI, entre otras.
- c. **Sistema EDUSAT.** La SEP y la UNAM mantienen un convenio que permite a ésta transmitir programas a través de la RED EDUSAT. Los programas de la UNAM se transmiten principalmente por los canales 13 y 18, ambos de señal restringida y por el 16 de señal abierta debido a su transmisión simultánea por el Canal 22 UHF, concesionado a Televisión Metropolitana.
- d. **Canales web.** Existen dos canales web en la UNAM con una frecuencia de transmisión constante. Uno es operado por la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico y distribuye, principalmente, actividades académicas y el otro, por la Dirección General de TVUNAM; éste transmite videos de difusión cultural y divulgación de la ciencia.

6.7.1 Televisión digital en la UNAM

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorgó a la UNAM, el mes de diciembre del 2000, el permiso experimental para instalar y operar una estación de televisión digital de baja potencia en el Campus de Ciudad Universitaria, en principio este canal transmitirá su señal de forma analógica y paulatinamente cambiara su señal a digital. Por lo que se han formado grupos de trabajo con personal de diferentes instituciones universitarias como la facultad de ingeniería, el instituto de ingeniería, el CUAED, el IIMAS, DGSCA y Tv. UNAM que colaboran para la puesta en marcha de el canal universitario, el canal 60, que tendrá su banda de operación en UHF entre las frecuencias 746 a 752 MHz.

Se tienen ocho grupos de trabajo dedicados al análisis de las diversas etapas de la televisión digital. Estos grupos de trabajo son:

Grupo 1. Puesta en operación del transmisor analógico.

Tiene como objetivo general. Adquirir equipo, personal y experiencia, necesarios para la realización de las pruebas y mediciones planteadas. Y sus metas son:

Adquisición transmisor analógico.

- Análisis de espectro del canal 60.
- Patrón de radiación de la antena.
- Interferencia de canal adyacente.
- Revisar suministro de potencia.
- Estudio comparativo de equipos.
- Programa de mantenimiento.
- Entrega de información técnica.

Grupo 2. Transmisión de radiofrecuencia.

Tiene como objetivo general. Análisis de la transmisión digital, considerando los diversos aspectos ligados a este proceso como son: la modulación digital y los dispositivos de transmisión-recepción (amplificadores de potencia, mezcladores, antenas, etc.). Y sus metas son:

- Analizar el desempeño de los esquemas de transmisión VSB-8 (sistema ATSC) y COFDM (sistema DVB-T).
- Analizar la factibilidad de diseño de dispositivos para la transmisión de televisión digital.

Grupo 3. Receptores.

Tiene como objetivo general. Análisis y estudio de factibilidad del desarrollo de decodificadores digitales. Y sus metas son:

- Buscar tecnologías actuales, actividades relacionadas en otros países y experiencias obtenidas.
- Establecer la tendencia de la normatividad dentro de la televisión digital en nuestro país.
- Definir políticas de uso de esta tecnología compatible y homologada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Definir el tiempo en el que se podrán tomar decisiones de normas a utilizar y diseñar un decodificador que cumpla la normatividad.

Grupo 4. Servicios interactivos.

Tiene como objetivo general. Consolidar la integración de servicios de comunicación diversos dentro del marco de la televisión digital. Y sus metas son:

- Definir los servicios a ser transmitidos en un canal interactivo.
- Transmisión de canales de televisión en Internet.
- Analizar como deberán ser transmitidos, esquematizados y presentados los datos asociados con un programa de televisión.
- Definir los canales de regreso óptimos que apoyen la transmisión de programación interactiva en tiempo real, así como los mecanismos de transporte para cada uno de ellos con base en el servicio agregado que estén soportando.
- Establecer la factibilidad real y los posibles beneficios de la integración de Internet, como un servicio de la Televisión Digital.
- Definir las tecnologías y aplicaciones a considerar en la implementación de redes multimedia en la UNAM, sobre la base de la transmisión de televisión en Internet.
- Incorporar, ampliar y/o diversificar los servicios actuales de la televisión educativa a la televisión digital.
- Definir las tecnologías a incorporar para la implementación del servicio de video bajo demanda.

Grupo 5. Tv. Avanzada.

Tiene como objetivo general. Realizar un estudio de los estándares de televisión avanzada y emitir una recomendación y una estrategia para que Tv-UNAM, adopte uno de estos estándares a la brevedad posible. Este estudio contemplará la metodología de cambio desde la producción hasta la transmisión, tomando en cuenta las necesidades específicas de este canal, incluyendo tipo de servicios que se contempla distribuir, recomendaciones de la SCT, zona de radiodifusión, etc. Y sus metas son:

- Estudio y seguimiento de la normatividad internacional sobre televisión avanzada, televisión digital y televisión de alta definición incluyendo los estándares americano, europeo y japonés.
- Seguimiento y participación en los grupos de trabajo relacionados con televisión avanzada, nacionales e internacionales, como son ATSC (Advanced Television Standard Committee), NAB (North American Broadcast Association) y aquellos promovidos por la SCT.
- Estudio de la factibilidad para la adopción de los distintos estándares basado en los servicios a distribuir, las condiciones de radiodifusión de C.U., y de recepción en todo el país, pero sobretudo en la zona metropolitana, así como en la normatividad de la SCT.
- Propuesta de una estrategia para cambio a estándares de televisión digital en las etapas de: producción, postproducción y transmisión.
- Selección de equipo de transmisión digital.
- Adquisición de equipo de transmisión digital.
- Pruebas de radiodifusión con el estándar digital escogido.

Grupo 6. Broadcasting satelital.

Tiene como objetivo general. Analizar y comparar las técnicas de modulación y codificación para transmisión vía satélite de TV Digital, propuestas por la ATSC (E.U.A.) y DVB-S (Europa) para seleccionar la más adecuada. Y sus metas son:

- Determinar las ventajas y desventajas de las normas ATSC y DVB-S en la modulación y codificación de información para transmisión vía satélite de televisión digital.
- Evaluar el desempeño de ambas normas para recomendaciones futuras sobre selección de tecnologías.

Grupo 7. Procesamiento digital de señales.

Tiene como objetivo general. Analizar y desarrollar medios técnicos para la producción y post-producción de TV-digital. Investigar y desarrollar técnicas y tecnologías para el procesamiento de video digital. Y sus metas son:

- Analizar las herramientas computacionales existentes en software y hardware para la adquisición y manipulación de video digital.
- Analizar las normas de codificación de video digital, producción de televisión interactiva y multimedia, protección de contenidos, almacenamiento y recuperación de video digital.
- Investigación y desarrollo de técnicas alternativas de codificación de video digital.
- Investigación y desarrollo de técnicas de mejoramiento de la calidad del video digital (eliminación de ruido y mejoramiento de la nitidez).
- Investigación y desarrollo de técnicas de post-procesamiento de video digital (efectos visuales y auditivos).

Grupo 8. Producción de contenidos.

Tiene como objetivo general. Lograr que el Circuito de Televisión-Canal 60, se convierta en un medio para la transmisión de programas y cursos educativos (con valor curricular) como una opción de apoyo a la enseñanza de las materias transversales a los planes de estudio de Facultades y Escuelas de la UNAM y cubrir así, los vacíos o deficiencias que los estudiantes puedan presentar. Y sus metas son:

- Bajo el concepto de televisión educativa e interactiva, la CUAED producirá cursos autocontenidos con asesorías a través de páginas web de las materias de español matemáticas e inglés. La producción de la CUAED, más la producción de los cursos de cómputo de TV-UNAM, así como otros contenidos que se adecuen al formato, integraran la programación del canal. A partir de su lanzamiento, se propone que la transmisión consista en tres horas diarias, de lunes a viernes con cuatro repeticiones, con el objeto de facilitar que sirva a estudiantes en distintos horarios. Una vez que se vaya incrementando la producción, el formato de transmisión puede variar.

6.5 Algunas organizaciones que contribuyen a la estandarización de la tv digital**6.5.1 DVB (Digital Video Broadcast)**

Es un consorcio de alrededor 300 compañías de difusión, fabricación, operadoras y reguladores de la red, quienes han venido juntos a establecer estándares internacionales comunes para la difusión de señales analógicas y digitales. La oficina de DVB se encuentra en Ginebra (Suiza)

Está desarrollando un conjunto de especificaciones para llevar la televisión digital hasta los hogares, y está trabajando sobre normas para sistemas:

- Satélite.
- Cable.
- Transmisión digital terrestre.
- Servicio de transmisión de datos.

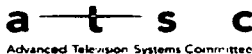
- Sistemas de codificación.
- Interfaces de acceso condicional común que pueda beneficiarse de las economías de escala por hacer uso de todo un conjunto de componentes tecnológicos comunes.



6.8.2 ATSC (Advanced Television Systems Committee)

Es una organización internacional, no lucrativa de la calidad de miembro que desarrolla los estándares voluntarios para el espectro entero de los sistemas avanzados de la televisión. Coordina estándares de la televisión entre diversos medios de comunicaciones que se centran en la televisión digital, sistemas interactivos, y comunicación de banda ancha multimedia. Desarrolla estrategias digitales de la puesta en práctica de la televisión y está presentando seminarios educativos sobre los estándares de ATSC.

Fue formado en 1982 por la JCIC, EIA, IEEE, NAB, NCTA, y la sociedad de ingenieros de la película y de la televisión (SMPTE).



6.8.3 ECCA (The European Cable Communications Association)

Está ubicada en Bruselas, Bélgica es la asociación comercial de los operadores de cable europeos.

Las principales metas de la asociación son:

- Motivar la cooperación entre los operadores de cable y
- Promover y representar los intereses de sus miembros a nivel Europa e internacional

La primera cooperación informal entre operadores de cable europeos data de 1949. Como este tipo de cooperaciones eran mas frecuentes se decidió darle una estructura formal. En septiembre de 1955, fue creada la AID (Alliance Internationale de la Distribution par cable) por representantes de Suiza, Bélgica y Noruega. En 1993 AID cambio de nombre por "European Cable Communications Association (ECCA)", tomando el aspecto de las comunicaciones de los servicios de banda ancha sobre cable en el actual mundo interactivo como una de las metas de esta asociación Europea.

ECCA a actualmente consta de 32 miembros en 17 diferentes países. Además cuenta con 3 miembros asociados en Europa Central del Este. En total los miembros de la ECCA representan mas de 40 millones de suscriptores en Europa.

Debido a los desarrollos tecnológicos y los cambios en la economía en la última década, la industria del cable en Europa ha tenido importantes cambios. Es decir, desde una industria cuyo objetivo principal era proveer servicios de broadcast a suscriptores residenciales, esta se ha convertido en una industria caracterizada por proveer una gama amplia de servicios interactivos y entregarlos tanto a los simples

consumidores residenciales hasta los negociantes quienes realizan sus transacciones a través de la red de cable.

Dentro de este contexto la legislación por parte de la Unión Europea ha jugado y jugará un papel importante. Los principales objetivos de ECCA son los siguientes:

- Promover un nivel de "campo de juego" entre varias infraestructuras. ECCA cree que esto solo puede ser implementado armonizando las regulaciones en telecomunicaciones en toda la Unión Europea.
- Soportar una aproximación realista para administrar los copyright dentro del contexto europeo. El establecimiento de derechos de autor individuales puede ser un punto de comienzo. En situaciones donde no sea ECCA quien regule o abogue por lo derechos de autor se aplicaría un esquema "one stop shopping" similar al establecido en los de vía satélite
- ECCA estimula el desarrollo de estándares para la industria del cable. Últimamente estos estándares son un prerrequisito para asegurar que el servicio entregado a los usuarios finales es de alta calidad.

6.8.4 FCC (Federal Communications Commission)

La Comisión federal de las comunicaciones (FCC) es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, directamente responsable al congreso. Regula los aspectos técnicos y la utilización del espectro para el servicio de radiodifusión de señales de televisión, la radiodifusión terrestre y por satélite, y es menor para la radiodifusión por cable; actualmente en las cuestiones espectrales relacionadas con la radiodifusión terrestre de un sistema de "Televisión Avanzada" (ATV).



6.8.5 CABLE LABS

Es una organización que se encarga de la normalización de la transmisión de Televisión digital a través de cable. A su vez dicta los requerimientos de software, la estructuración de la plataforma de la TV Digital, desarrolla normas para comunicaciones de datos sobre redes, por ejemplo, redes HFC.

CableLabs tiene muchos proyectos con el objetivo de ayudar a la industria del cable a desarrollar servicios interactivos sobre cable:

- Hay varias divisiones dedicadas a proyectos específicos como DOCSIS, PacketCable, OpenCable.
- Proveerán estándares a la industria del cable.
- Definirán la próxima generación de dispositivos digitales de consumo.
- Iniciar un mercado competitivo.
- Crear una plataforma de hardware

6.8.6 ETSI

Fue creada en 1988 por las administraciones de Francia y el Reino Unido y actualmente cuenta entre sus miembros con administraciones nacionales, operadoras de red pública, fabricantes, usuarios y proveedores privados.

Es la organización europea de estandarización en las áreas de telecomunicación, tecnología de la información y "broadcasting" de sonido y TV.

Su estructura se conforma de la siguiente manera: una Asamblea General, una Asamblea Técnica, los Comités Técnicos y los equipos de proyecto.

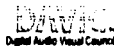
La misión que tiene este organismo es ser el mejor proveedor de especificaciones técnicas de Europa, la búsqueda de la convergencia entre telecomunicaciones, tecnología de la información y broadcasting, y la orientación a las necesidades del mercado, entre otros objetivos.



6.8.7 DAVIC

Es una asociación sin ánimo de lucro establecida en Ginebra (Suiza) compuesta por más de 200 empresas de más de 20 países. Su objetivo es el potenciar la implantación de las nuevas aplicaciones y servicios audiovisuales emergentes mediante la disponibilidad de normas internacionales sobre interfaces abiertas y protocolos que maximicen la interoperabilidad de los sistemas.

El campo de actuación de este organismo: Incluye todas aquellas aplicaciones y servicios que contienen un componente importante de audio y vídeo. Además se encarga de promover la aplicación de servicios audiovisuales y digitales proporcionando especificaciones sobre interfaces abiertas y protocolos que maximicen la interoperabilidad entre organizaciones del mismo o de diferentes países y en áreas: Redes de TV, vídeo, televenta.



6.8.8 W3 (WWW)

El consorcio del World Wide Web (W3C) desarrolla las tecnologías interoperable (especificaciones, guías de consulta, software lógica, y herramientas) para conducir el Web a su capacidad máxima como foro para la información, el comercio, la comunicación, y la comprensión colectiva.

Capítulo 7 Temario propuesto

7.1 Introducción

La evolución tecnológica de la televisión ha hecho que se requiera conocer los métodos y técnicas digitales empleadas para su transmisión y recepción, para así poder enfrentar los retos que se presentarán en la transición de la televisión analógica a la digital en el país. Una de las metas principales al realizar esta investigación es la de proponer un temario para una asignatura sobre televisión digital que pueda ser impartida en la FI-UNAM.

Es en este Capítulo donde sintetizamos los temas que se consideran más convenientes, para poder impartir un curso sobre esta tecnología, sus aspectos básicos y su panorama histórico.

La propuesta del temario se basa en el sistema transmisor-receptor de la televisión digital. Visto como un sistema de comunicaciones a bloques, el cual se muestra en el diagrama de la Fig. 7.1.

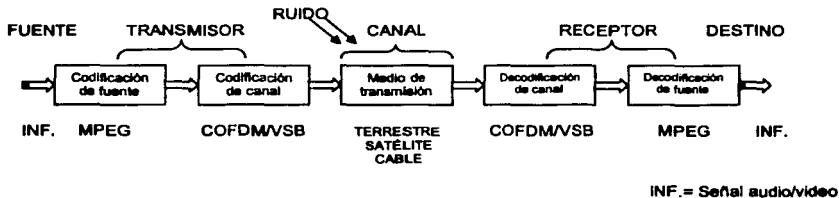


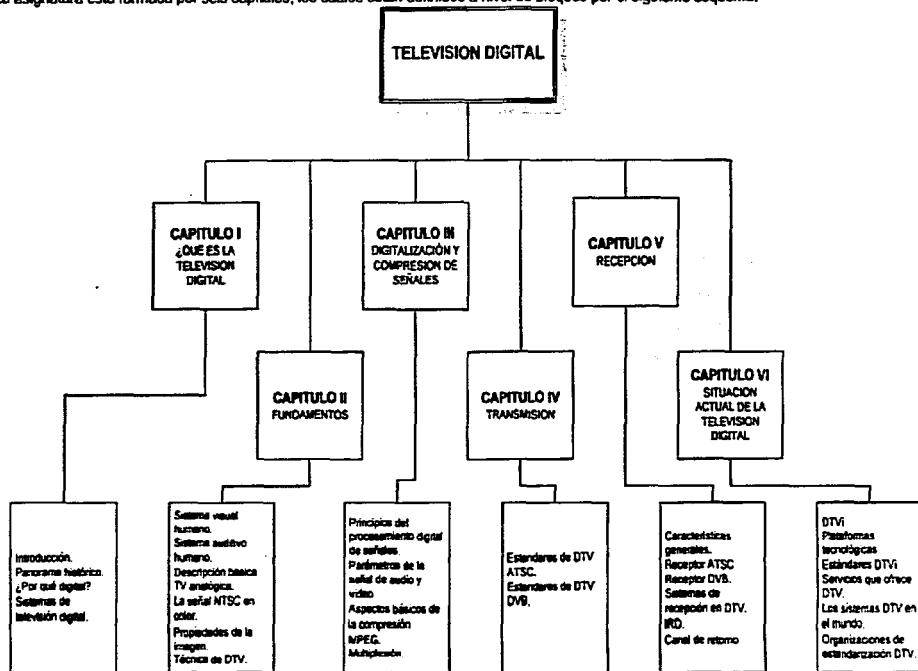
Fig. 7.1 Sistema DTV transmisor-receptor

Es importante mencionar que este temario sobre el esquema transmisor-receptor no adopta un estándar en específico (ATSC, DVB o ISDB). De ahí que sea a nivel general cada uno de los bloques anteriores incluido en el temario propuesto, y desglosado en sus componentes mínimos para una mejor comprensión.

Finalmente el temario propone tópicos de interés acerca de servicios, usos y plataformas que ofrece la televisión digital o la televisión digital interactiva; así como la situación de los estándares a nivel mundial.

7.2 Temario

La asignatura está formada por seis capítulos, los cuales están definidos a nivel de bloques por el siguiente esquema:



7.3 Asignación de tiempos para el temario

En este apartado definimos el tiempo que consideramos necesario para impartir cada uno de los temas propuestos para la asignatura, tomando en cuenta el grado de complejidad que presenta cada uno de éstos y también tomamos en cuenta que la materia es propuesta para un nivel de décimo semestre y varios de los conceptos que se manejan ya son conocidos por el alumno en materias precedentes. En función de esto, asignamos el tiempo para cada uno de los temas y sub-temas lo más detallado posible. El análisis matemático debe ser incluido al impartir la materia y también tomamos en cuenta este factor para hacer el cálculo de tiempo propuesto.

Proponemos temas adicionales que no fueron abarcados en este trabajo de investigación, pero que consideramos complementarios para tener una mejor comprensión de un tema específico sobre la asignatura de Televisión digital. Así mismo, procuramos ajustar los tiempos para poder tener un mejor control de los temas vistos en cada clase y lograr con esto la menor interrupción de cada tema durante su exposición en el curso.

El método que seguimos para asignar el número de horas fue el siguiente.

- 1) Asignamos el tiempo necesario para cada uno de los puntos especificados en cada tema según los criterios mencionados con anterioridad.
- 2) Sumamos el número de horas totales para desarrollar el curso.
- 3) Se realizó una comparación respecto del número de horas disponibles para impartir este tipo de cursos en la Facultad de Ingeniería considerando para la materia 8 créditos.
- 4) Por último se hizo una corrección en los tiempos propuestos para lograr sintetizar un temario que se ajuste con las características establecidas por la Facultad de Ingeniería.

A continuación enlistaremos una matriz que detalla el número de horas propuesto inicialmente y la suma total de estas, es decir, desarrollamos los puntos 1 y 2 anteriormente listados.

Capítulo 1 ¿Qué es TV Digital?	Tiempo	Observaciones
1.1 INTRODUCCIÓN	10 min.	Consideramos una hora como suficiente para crear un interés en el alumno
1.2 PANORAMA HISTÓRICO	20 min.	
1.3 ¿POR QUÉ DIGITAL?	10 min.	
1.4 SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL	30 min.	
1.4.1 ATSC	10 min.	
1.4.2 DVB	10 min.	
1.4.3 ISDB	10 min.	
Tiempo total	1.16 h	

Capítulo 2 Fundamentos	Tiempo	Observaciones
2.1 SISTEMA VISUAL HUMANO	15 min.	Es importante analizar estos sistemas, debido a que introducen conceptos básicos, tanto los sistemas visual y auditivo, como las normas de televisión visual y analógicas y las componentes de señal de video para el Capítulo 3 (compresión).
2.2 SISTEMA AUDITIVO HUMANO	15 min.	
2.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA TV ANALÓGICA	45 min.	
2.3.1 Exploración entrelazada	20 min.	
2.3.2 Cuadro y Campo	10 min.	
2.3.3 Normas de TV analógica		
2.3.3.1 PAL	5 min.	
2.3.3.2 SECAM	5 min.	
2.3.3.3 NTSC	5 min.	
2.4 LA SEÑAL NTSC EN COLOR	1.0 h	
2.4.1 Señal de video compuesta		
2.4.1.1 Señal Y, B-Y, R-Y	30 min.	
2.4.2 Señal de video por componentes		
2.4.2.1 Señal R, G, B	30 min.	
Tiempo total	2.25 h	

Capítulo 3 Digitalización y Compresión de Señales	Tiempo	Observaciones	
3.1 Principios del procesamiento digital de señales	1.0 h	Este tema será un repaso de los conceptos antes vistos en asignaturas precedentes, por lo que se dará una explicación general de los conceptos aquí mencionados	
3.1.1 Muestreo	15 min.		
3.1.1.1 Teorema de Nyquist	15 min.		
3.1.1.2 Aliasing	15 min.		
3.1.2 Cuantización	15 min.		
3.1.2.1 Error de cuantización	15 min.	La primera parte del tema será un repaso de los conceptos antes vistos en otras asignaturas, sin embargo los nuevos elementos que se mencionan a partir del 3.2.2 se ampliarán su explicación ya que son nuevos para el alumno, haciendo hincapié en el formato 4:2:2 así como en la descomposición de la señal de video en Y, R-Y, B-Y.	
3.1.3 Codificación	15 min.		
3.2 Parámetros de la señal de audio y video	1.1 h		
3.2.1 Señal de audio	5 min.		
3.2.1.1 Frecuencia de muestreo	5 min.		
3.2.1.2 Nivel de cuantización	10 min.		
3.2.1.3 PCM	30 min.		
3.2.2 Señal de video	10 min.		
3.2.2.1 Frecuencia de muestreo Y, Cr, Cb	10 min.		
3.2.2.2 Niveles de cuantización de Y, Cr, Cb	10 min.		
3.2.2.3 Formatos 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0	10 min.	Los siguientes tres temas (3.3, 3.4 y 3.5) representan el bloque donde se lleva a cabo la codificación de fuente y tienen el mayor número de horas invertidas, debido a la complejidad de estos. El alumno conocerá nuevos conceptos, importantes para la comprensión de los temas posteriores, por lo que se hace énfasis en la explicación de cada uno de los nuevos conceptos para que estos queden claros. Para una mejor explicación se recomienda para este tema el uso de diapositivas.	
3.3 Aspectos básicos de la compresión	15 min.		
3.3.1 Aspectos generales de los formatos de compresión	5 min.		
3.3.2 Tipos de Redundancia	5 min.		
3.3.2.1 Redundancia Espacial	5 min.		
3.3.2.2 Redundancia Temporal	5 min.		
3.3.2.3 Redundancia Visual	5 min.		
3.3.3 Tipos de compresión de imágenes	50 min.		
3.3.3.1 Compresión de imágenes sin pérdidas	20 min.		
3.3.3.1.1 Histograma de brillo	30 min.		
3.3.3.2 Codificación Huffman	1h		
3.3.3.2 Compresión de imágenes con pérdidas	1h		
3.3.3.2.1 DCT	1h		
3.3.4 Compresión de video	5 min.		
3.3.4.1 Codificación espacial	5 min.		
3.3.4.2 Codificación temporal	10 min.		
3.3.4.3 Codificación Bidireccional	10 min.		
3.3.5 Compresión de audio	10 min.		
3.3.5.1 Sub-bandas	20 min.		
3.3.5.2 Enmascaramiento	20 min.		
3.3.5.3 Transformada discreta de Fourier	40 min.		
3.4 MPEG	6.4 h		Los conceptos vistos con anterioridad en este capítulo se reforzarán al introducirlos en un contexto real que es MPEG, sin embargo se dará prioridad a los nuevos conceptos que introduce MPEG-2, ya que dichos elementos son de gran importancia para la comprensión del sistema de compresión.
3.4.1 Panorama general de MPEG	15 min.		
3.4.2 Fundamentos del formato MPEG	30 min.		
3.4.2.1 Imágenes GOP	10 min.		
3.4.2.2 Capas de una secuencia de video	10 min.		
3.4.2.2.1 Bloques	10 min.		
3.4.2.2.2 Macrobloques	10 min.		
3.4.2.2.3 Rebanadas	10 min.		
3.4.2.3 Compensación de movimiento	40 min.		
3.4.2.4 DCT en MPEG	30 min.		
3.4.3 MPEG-2	20 min.		
3.4.3.1 La estructura Frame	20 min.		
3.4.3.2 La estructura Field	20 min.		
3.4.3.3 Exploración en TV	20 min.		
3.4.4 Compresión de audio en MPEG	1.0 h		
3.4.4.1 Capa 1	1.0 h		
3.4.4.2 Capa 2	1.0 h		
3.4.4.3 Capa 3	1.0 h		
3.5 Multiplexión	6.25 h	El tema de multiplexión en MPEG-2 representa el último paso del sistema de compresión, antes de entrar al bloque general de transmisión en televisión digital.	
3.5.1 Tipos de multiplexión	5 min.		
3.5.1.1 Multiplexión por división de tiempo	5 min.		
3.5.1.2 Multiplexión por división de frecuencia	5 min.		
3.5.1.3 Multiplexión estadísticas	5 min.		
3.5.2 Multiplexión en MPEG	2 h		
3.5.2.1 PES	20 min.		
3.5.2.2 Flujo de transporte	20 min.		
3.5.2.3 Flujo de programa	20 min.		
3.5.2.4 Cabecera de un PES	20 min.		
3.5.3 Multiplexión en MPEG-2	2.0 h		
3.5.3.1 Panorama General	2.0 h		
3.5.3.2 Tablas de asociación	1.0 h		

Tiempo total

20.45 h

Capítulo 4 Sistemas de Transmisión	Tiempo	Observaciones
4.1 ESTANDARES DE DTV ATSC	9.4 h	Antes de describir el sistema de transmisión proponemos el estudio del ruido y las interferencias presentes en los sistemas de televisión.
4.1.1 PARAMETROS DE TRANSMISIÓN	10 min.	
4.1.1.1 Ruido térmico	5 min.	
4.1.1.2 Propagación multirrayectoria	5 min.	
4.1.1.3 Interferencia intersimbólica	5 min.	
4.1.1.4 Interferencia de Onda onñua	10 min.	
4.1.1.5 Interferencia canal Contiguo	5 min.	
4.1.1.6 Ruido de impulso	5 min.	
4.1.1.7 Ruido de fase	10 min.	
4.1.1.8 E_b/N_0	5 min.	
4.1.1.9 BER	7.5 min.	
4.1.2 Ancho de banda	7.5 min.	
4.1.3 Escalabilidad de canales	7.5 min.	
4.1.4 Tasa de transmisión	7.5 min.	
4.1.5 ATSC SISTEMA DE TRANSMISIÓN TERRESTRE		
4.1.5.1 Ajusterización de datos	30 min.	
4.1.5.2 Codificación Reed-Solomon	60 min.	
4.1.5.3 Entrelazador de datos	30 min.	
4.1.5.4 Codificación Trellis	30 min.	
4.1.5.5 inserción de la señal piloto	30 min.	
4.1.5.6 Modulación VSB	60 min.	
4.1.6 ATSC CABLE		
4.1.6.1 Señales DTB en sistemas de cable	30 min.	
4.1.6.2 Remodulación	20 min.	
4.1.6.3 Codificación 16-VSB	30 min.	
4.1.6.4 Enmascaramiento de emisión	20 min.	
4.1.6.5 Tasa de transmisión	20 min.	
4.1.7 ATSC SÁTELITE		
4.1.7.1 Modulación QPSK, 8PSK, 16QAM	30 min.	
4.1.7.2 Ancho de banda	7.5 min.	
4.1.7.3 Eficiencia de espectro	7.5 min.	
4.1.7.4 Potencia de la señal	7.5 min.	
4.1.7.5 Tasa de transmisión	7.5 min.	
4.1.7.6 Códigos de corrección de errores FEC	30 min.	
4.1.7.7 Modulación en RF	30 min.	
4.2 ESTANDARES DE DTV DVB	7.1 h	AJ igual que el tema anterior (4.1) en este se analiza el bloque codificador de canal, pero en este caso se analiza el sistema DVB. Debido a que varios de los conceptos vistos en este tema, ya fueron desarrollados en el tema 4.1, el tiempo invertido para este sistema se reduce de manera considerable
4.2.1 Ancho de banda	7.5 min.	
4.2.2 Escalabilidad de canales	15 min.	
4.2.3 Modulación COFDM		
4.2.3.1 Modo 2k	30 min.	
4.2.3.2 Modo 8k	30 min.	
4.2.4 Relación de aspecto	15 min.	
4.2.5 Tasa de transmisión	7.5 min.	
4.2.6 Sistema de transmisión terrestre DVB-T		
4.2.6.1 Ajusterización de datos	7.5 min.	
4.2.6.2 Codificación Reed-Solomon	7.5 min.	
4.2.6.3 Entrelazador externo	7.5 min.	
4.2.6.4 Codificación Convolutional	15 min.	
4.2.6.5 Entrelazador interno	7.5 min.	
4.2.6.6 Mapeo de modulación	30 min.	
4.2.6.7 IFFT	30 min.	
4.2.6.8 Intervalo de guarda	15 min.	
4.2.7 DVB-C		
4.2.7.1 Redes CATV	15 min.	
4.2.7.2 Modulación 32 QAM y 64 QAM	30 min.	
4.2.7.3 Tasa de transmisión	5 min.	
4.2.7.4 Características de los sistemas de cable		
4.2.7.4.1 Ancho de banda	5 min.	
4.2.7.4.2 Linealidad	5 min.	
4.2.7.4.3 Señal a ruido	10 min.	

4.2.7.4.4 Potencia	10 min.	
4.2.8 DVB-S		
4.2.8.1 Parámetros que caracterizan al satélite		
4.2.8.1.1 Posición orbital	10 min.	
4.2.8.1.2 Ancho de banda de transponder	10 min.	
4.2.8.1.3 Potencia	10 min.	
4.2.8.1.4 Cobertura	10 min.	
4.2.8.1.5 Disponibilidad	10 min.	
4.2.8.1.6 No linealidad	10 min.	
4.2.8.2 DVB-SMATV		
4.2.8.2.1 SMATV-A	25 min.	
4.2.8.2.2 SMATV-B	20 min.	
4.2.8.3 DVB por microondas	15 min.	
Tiempo total	16.5 h	

Capítulo 8 Recepción	Tiempo	Observaciones	
5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	10 min.	A modo de introducción.	
5.2 Recepción de señales digitales	1.6 h	Se desarrolla los aspectos generales de la recepción de señales digitales.	
5.2.1 Equipo de recepción	15 min.		
5.2.2 Resolución en recepción de DTV			
5.2.2.1 La relación de aspecto en televisión			
5.2.2.1.1 Señales en 4:3 y 4:16	10 min.		
5.2.2.1.2 El conversor de relación de aspecto(ARC)	5 min.		
5.2.2.1.3 Conversión ascendente	5 min.		
5.2.2.1.4 Conversión descendente	5 min.		
5.2.2.2 Televisión STDV y HDT			
5.2.2.2.1 Señal de video compuesta	15 min.		
5.2.2.2.2 Estándares 1250/50 y 1125/60	10 min.		
5.2.2.2.3 Digitalización de la señal. Parámetros para 1125/60/2:1 y 1250/50/2:1 en estructura 4:2:2	10 min.		
5.2.2.2.4 Formatos de HDTV y SDTV	15 min.		
5.3 RECEPTOR ATSC	2.6 h		El estándar americano en este tema se analiza en el aspecto de la recepción. Se observa el desglose a nivel de bloques para su análisis.
5.3.1 Proceso de recepción digital	10 min.		
5.3.2 DETECCIÓN DE SINCRONIZACIÓN DE SEGMENTO	10 min.		
5.3.3 Detección de sincronización de campo	10 min.		
5.3.4 Recuperación de sincronización de campo	10 min.		
5.3.5 Recuperación de sincronización de cuadro	10 min.		
5.3.6 Ecuilizador	10 min.		
5.3.7 Decodificador Trellis	15 min.		
5.3.8 Desentrelizador de Datos	15 min.		
5.3.9 Decodificador Reed-Solomon	15 min.		
5.3.10 Desaleatorizador de datos	15 min.		
5.3.11 Flujo de bits de transporte	10 min.		
5.3.12 Decodificador de transporte	10 min.		
5.3.13 Decodificador de video	10 min.		
5.3.14 Decodificador de audio	10 min.		
5.4 RECEPTOR DVB	2.2 h	El receptor bajo el esquema de DTV europeo, se cubre con este tema del receptor DVB, se observa el desglose a nivel de bloques elementales para su análisis.	
5.4.1 Intervalo de Guarda	5 min.		
5.4.2 FFT	15 min.		
5.4.3 Igualador	15 min.		
5.4.4 Demultiplexor de Trama	15 min.		
5.4.5 Decodificador de información del sistema	15 min.		
5.4.6 Desentrelizador de información del sistema	15 min.		
5.4.7 Decodificador de Canal	15 min.		
5.4.8 Desentrelizador externo	15 min.		
5.4.9 Decodificador Reed-Solomon	15 min.		
5.4.10 Desaleatorizador de Energía	10 min.		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 7 Temario propuesto

167

5.5 SISTEMAS DE RECEPCIÓN EN TV DIGITAL	3.6 h	En este apartado se tienen los distintos modos de recepción, tanto para el sistema americano como para el europeo.
5.5.1 Diferencias DVB-T / ATSC	10 min.	
5.5.2 Sistemas de recepción televisión digital	15 min.	
5.5.2.1 Sistema de televisión digital por cable	15 min.	
5.5.2.2 Sistema de televisión digital por microondas	15 min.	
5.5.2.3 Sistema de televisión digital por satélite	15 min.	
5.5.2.4 Sistema de televisión digital terrestre	15 min.	
5.5.3 Recepción móvil	30 min.	
5.5.4 Sistemas de acceso	10 min.	
5.5.4.1 Técnicas de acceso multiplexadas	10 min.	
5.5.4.2 Sistemas de acceso condicional	10 min.	
5.5.4.2.1 Proceso de acceso condicional	10 min.	
5.5.4.2.2 Simulcrypt vs. Multicrypt	15 min.	
5.5.4.3 Modulo de acceso condicional	10 min.	
5.5.4.4 Tarjetas inteligentes para el Acceso Condicional	10 min.	
5.6 RECEPTOR DECODIFICADOR INTEGRADO	1.25h	Se estudia en este tema el principal bloque del receptor: el STB.
5.6.1 ¿Qué es un Set-Top Box?	5 min.	
5.6.2 Funcionamiento del IRD	15 min.	
5.6.2.1 Primera generación	15 min.	
5.6.2.2 Segunda generación	15 min.	
5.6.2.3 Tercera generación	15 min.	
5.6.3 Software para IRD's	10 min.	
5.6.4 Hardware para set top box	10 min.	
5.7 CANAL DE RETORNO	10 min	Una introducción al canal de interactividad.
Tiempo total	11.47 h	

Capítulo 8 Situación actual de la TV digital.	Tiempo	Observaciones
6.1 TELEVISIÓN DIGITAL INTERACTIVA.	1.0h	El alumno podrá conocer por su parte el panorama de la DTVI, dejando para el salón de clases una breve exposición y aclaración de dudas. En esta exposición se debe dar énfasis al estudio de las APIs.
6.1.1 Panorama general de la Televisión Digital Interactiva (DTVI).	20 min.	
6.1.2 Interfaz de programación de aplicaciones (API).	40min.	
6.2 PRINCIPALES PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS.	2.5 h	Se estudiarán las principales plataformas, estas plataformas como tal son nuevas para los alumnos, por lo que aunque solo se muestren sus características principales, el profesor debe tener tiempo para su exposición, teniendo en cuenta que tendrá que aclarar dudas.
6.2.1 PowerTV.	30 min.	
6.2.2 OpenTV.	30 min.	
6.2.3 Liberate.	30 min.	
6.2.4 Wink Communications.	30 min.	
6.2.5 Worldgate.	30 min.	
6.3 ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL INTERACTIVA.	2.5 h	Al conocer dos de los principales estándares (por ser los desarrollados por ATSC y DVB) que tratan de ser adoptados por la DTVI, se les dará más énfasis, y al ser nuevas como tal para los alumnos, el profesor debe tener una exposición que no lo limite a no resolver o aclarar dudas.
6.3.1 OpenCable.	40 min.	
6.3.2 Multimedia Home Platform (MHP).	55 min.	
6.3.3 DTV Application Software Environment (DASE).	55 min.	
6.4 SERVICIOS QUE OFRECE LA TELEVISIÓN DIGITAL.	1.0 h	Los servicios que ofrece la televisión se abordaran de forma conceptual por lo que el alumno los podrá estudiar por su parte, dejando para la clase una exposición que abarcará lo estudiado, pero que dará prioridad al servicio de Internet por televisión.
6.4.1 Servicios y aplicaciones.	5 min.	
6.4.2 Internet en DTV.	20 min.	
6.4.2.1 Funcionamiento.	10 min.	
6.4.2.2 Algunas plataformas de Internet.	10 min.	
6.4.3 Servicios audiovisuales.	4 min.	
6.4.3.1 Canal mosaico.	2 min.	
6.4.3.2 Pay per view.	4 min.	
6.4.3.3 Digital Video Recorder (DVR).	4 min.	
6.4.4 Servicios Interactivos.	2 min.	
6.4.4.1 Quiz.	2 min.	
6.4.4.2 Banners.	2 min.	
6.4.4.3 Juegos.	2 min.	
6.4.4.4 Anuncios Interactivos.	2 min.	

Capítulo 7 Temario propuesto

6.4.4.5 El I-commerce.	2 min.	
6.4.4.6 Multipantalla.	2 min.	
6.4.5 Datacasting.	5 min.	
6.5 LOS SISTEMAS DE DTV ADOPTADOS EN EL MUNDO.	30 min.	Esta parte se podrá abordar con una exposición de dispositivos para hacer la clase de forma más esquemática, y así tener una referencia general de la adopción de los estándares, con lo que respecta a México y la UNAM se podrá dejar una investigación para conocer los avances en ese momento.
6.5.1 Países que adoptaron ATSC.	5 min.	
6.5.2 Países que adoptaron DVB.	5 min.	
6.5.3 Países que adoptaron ISDB.	5 min.	
6.5.4 Situación de la televisión digital en México.		
6.5.4.1 Televisión digital en México y la UNAM.	15 min.	
6.6 ORGANIZACIONES QUE CONTRIBUYEN A LA ESTANDARIZACIONES DE LA TV DIGITAL.	40 min.	Se abordará con exposición de dispositivos, dando a conocer principalmente la ficha técnica de las organizaciones, por lo que el tiempo asignado no debe ser tan extenso.
6.6.1 DVB (Digital Video Broadcast).	5 min.	
6.6.2 ATSC (Advanced Television Systems Committee).	5 min.	
6.6.3 ECCA (The European Cable Communications Association).	5 min.	
6.6.4 FCC (Federal Communications Commission).	5 min.	
6.6.5 CABLE LABS.	5 min.	
6.6.6 ETSI.	5 min.	
6.6.7 DAVIC.	5 min.	
6.6.8 W3 (WWW).	5 min.	

Tiempo total 8.16 h

En resumen el total de horas por Capítulo es el siguiente y se realiza un redondeo para especificar el tiempo en horas completas:

Capítulo	Tiempo (h)	Redondeando (h)
Capítulo 1 ¿Qué es TV Digital?	1.16	1.0
Capítulo 2 Fundamentos	2.25	3.0
Capítulo 3 Digitalización y Compresión de Señales	20.45	20.0
Capítulo 4 Sistemas de Transmisión	16.50	16.0
Capítulo 5 Características generales	11.47	13.0
Capítulo 6 Situación actual de la TV digital.	8.16	8.0
Total	61.0	61.0

Considerando que disponemos de 64 horas para esta asignatura, tenemos tres horas que las distribuiremos para las introducciones de capítulos y subtemas que consideramos más complejos y comentarios adicionales.

Capítulo	Tiempo final(h)
Introducción	1.0
Capítulo 1 ¿Qué es TV Digital?	1.0
Capítulo 2 Fundamentos	3.0
Capítulo 3 Digitalización y Compresión de Señales	21.0
Capítulo 4 Sistemas de Transmisión	17.0
Capítulo 5 Características generales	13.0
Capítulo 6 Situación actual de la TV digital.	8.0
Total	64.0

De ahí entonces el por qué de los tiempos de la propuesta de nuestro siguiente temario:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	
INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA División	Programa de Ingeniería COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA Departamento

Programa de la asignatura	TELEVISIÓN DIGITAL	Carrera	ING. ELÉCTRICO ELECTRÓNICO ING. EN COMPUTACIÓN ING. EN TELECOMUNICACIONES
Numero de asignatura	Numero de créditos: 8		
	Semestre: 16		
Duración del curso	Notas: 64	Semestre:	10*
	Tareas: 4	Obligatoria:	
Desarrollo	Pruebas: 0	Opcional:	X

OBJETIVO DEL CURSO
 Preparar al alumno una visión completa de las técnicas de televisión digital utilizadas en la actualidad que le permitan desempeñarse en esta actividad. Explicar como funciona un sistema de comunicaciones en concreto partiendo de sus fundamentos, servicios elementales, y profundizar lo necesario para lograr un conocimiento suficiente que permita al alumno desarrollar con esta actividad posteriores o trabajos de índole profesional en este campo.

TEMAS		
NUM	NOMBRE	HORAS
I	INTRODUCCIÓN ¿QUÉ ES TELEVISIÓN DIGITAL	1
II	FUNDAMENTOS	3
III	DIGITALIZACIÓN Y COMPRESIÓN DE SEÑALES	21
IV	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN	17
V	RECEPCIÓN	13
VI	SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN DIGITAL	8
		64

I ¿QUÉ ES LA TELEVISIÓN DIGITAL?
ANTECEDENTES
Nonego
OBJETIVO
El alumno concordará la historia y los sistemas de la Televisión Digital
CONTENIDO
1.1 INTRODUCCIÓN
1.2 PANORAMA HISTÓRICO
1.3 ¿POR QUÉ DIGITAL?
1.4 SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL
1.4.1 ATSC
1.4.2 DVB
1.4.3 ISDB
II FUNDAMENTOS
ANTECEDENTES
Nonego
OBJETIVOS
El alumno obtendrá los fundamentos de la televisión analógica como introducción para un sistema digital de televisión
CONTENIDO
2.1 SISTEMA VISUAL HUMANO
2.2 SISTEMA AUDITIVO HUMANO
2.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA TV ANALÓGICA
2.3.1 Estructura elemental
2.3.2 Cuadro y Campo
2.3.3 Normas de TV analógica
2.3.3.1 PAL
2.3.3.2 SECAM
2.3.3.3 NTSC
2.4 LA SEÑAL NTSC EN COLOR
2.4.1 Señal de video compuesta
2.4.1.1 Señal Y, B-Y, B-Y
2.4.2 Señal de video por componentes
2.4.2.1 Señal R, G, B
III DIGITALIZACIÓN Y COMPRESIÓN DE SEÑALES
ANTECEDENTES
Comunicaciones analógicas, Comunicaciones Digitales, Análisis de señales y señales, Densidad Digital, Procesamiento digital de señales
OBJETIVOS
El alumno comprenderá cualitativamente los conceptos de la digitalización de la señal de audio y video, así como analizar y comprender los conceptos y el proceso de la compresión de audio y video

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO

3.1 PRINCIPIOS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

- 3.1.1 Muestreo
 - 3.1.1.1 Teorema de Nyquist
 - 3.1.1.2 Aliasing
 - 3.1.2 Cuantización
 - 3.1.2.1 Error de cuantización
 - 3.1.3 Codificación
- 3.2 PARÁMETROS DE LA SERAL DE AUDIO Y VIDEO**
- 3.2.1 Señal de audio
 - 3.2.1.1 Frecuencia de muestreo
 - 3.2.1.2 Nivel de cuantización
 - 3.2.1.3 PCM
 - 3.2.2 Señal de video
 - 3.2.2.1 Frecuencia de muestreo Y, C, Ch
 - 3.2.2.2 Niveles de cuantización de Y, C, Ch
 - 3.2.2.3 Formatos 4:4, 4:2:2, 4:1, 4:2:0

3.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LA COMPRESIÓN

- 3.3.1 Aspectos generales de las formas de compresión
- 3.3.2 Tipos de redundancias
 - 3.3.2.1 Redundancia Espacial
 - 3.3.2.2 Redundancia Temporal
 - 3.3.2.3 Redundancia Visual
- 3.3.3 Tipos de compresión de imágenes
 - 3.3.3.1 Compresión de imágenes sin pérdidas
 - 3.3.3.1.1 Histograma de brillo
 - 3.3.3.1.2 Codificación Huffman
 - 3.3.3.2 Compresión de imágenes con pérdidas
 - 3.3.3.2.1 DCT
- 3.3.4 Compresión de video
 - 3.3.4.1 Codificación espacial
 - 3.3.4.2 Codificación temporal
 - 3.3.4.3 Codificación Diferencial
- 3.3.5 Compresión de audio
 - 3.3.5.1 Sub-bandas
 - 3.3.5.2 Entrecruzamiento
 - 3.3.5.3 Transformada discreta de Fourier

3.4 MPEG

- 3.4.1 Estructura general de MPEG
- 3.4.2 Fundamentos del formato MPEG
 - 3.4.2.1 Imágenes GOP
 - 3.4.2.2 Capa de una sucesión de video
 - 3.4.2.2.1 Bloques
 - 3.4.2.2.2 Macrobloques
 - 3.4.2.2.3 Referencias
 - 3.4.2.3 Compresión de movimiento
 - 3.4.2.4 DCT en MPEG
- 3.4.3 MPEG-2
 - 3.4.3.1 La estructura Frame
 - 3.4.3.2 La estructura Field
 - 3.4.3.3 Especificaciones en TV
- 3.4.4 Compresión de audio en MPEG
 - 3.4.4.1 Capa 1
 - 3.4.4.2 Capa 2
 - 3.4.4.3 Capa 3

3.5 MULTIPLEXIÓN

- 3.5.1 Tipos de multiplexión
 - 3.5.1.1 Multiplexión por división de tiempo
 - 3.5.1.2 Multiplexión por división de frecuencia
 - 3.5.1.3 Multiplexión estadística

3.5.2 Multiplexión en MPEG

- 3.5.2.1 PES
- 3.5.2.2 Flajo de transporte
- 3.5.2.3 Flajo de programa
- 3.5.2.4 Cabeceros de un PES
- 3.5.3 Multiplexión en MPEG-2
 - 3.5.3.1 Tablas de asociación

IV TRANSMISIÓN

ANTECEDENTES

Comunicaciones analógicas, Comunicaciones Digitales, Análisis de sistemas y señales, Diseño Digital, Procesamiento digital de señales

OBJETIVOS

El alumno conocerá los procesos elementales de los sistemas de televisión digital ATSC y DVB, así como los principales características en los estándares terrestre, satelital y cable

CONTENIDO

4.1 SISTEMA ATSC

- 4.1.1 Parámetros de transmisión
 - 4.1.1.1 Ruido térmico
 - 4.1.1.2 Ruido de impulso
 - 4.1.1.3 Ruido de fase
 - 4.1.1.4 Propagación multirrayos
 - 4.1.1.5 Interferencia entre servicios
 - 4.1.1.6 Interferencia de canal con ruido
- 4.1.2 Escalabilidad de canales
- 4.1.3 Modulación 8-VSB
- 4.1.4 Tabla de transmisión
- 4.1.5 Sistemas de transmisión ATSC terrestre
 - 4.1.5.1 Alineación de datos
 - 4.1.5.2 Codificación Reed-Solomon
 - 4.1.5.3 Entrelazamiento de datos
 - 4.1.5.4 Codificación Trellis
 - 4.1.5.5 Inserción de la señal piloto
 - 4.1.5.6 Modulación VSB
- 4.1.6 Sistema de transmisión ATSC cable
 - 4.1.6.1 Señales DTTB en sistemas de cable
 - 4.1.6.2 Remodulación
 - 4.1.6.3 Codificación 16-VSB
 - 4.1.6.4 Encastreamiento de emisión
 - 4.1.6.5 Tasa de muestreo
- 4.1.7 Sistema de transmisión ATSC satelital
 - 4.1.7.1 Modulación QPSK, PSK, 16QAM
 - 4.1.7.2 Ancho de banda
 - 4.1.7.3 Efectos de espotro
 - 4.1.7.4 Potencia de la señal
 - 4.1.7.5 Tasa de transmisión
 - 4.1.7.6 Código de corrección de errores FEC
 - 4.1.7.7 Modulación en RF

4.2 SISTEMA DVB

- 4.2.1 Ancho de banda
- 4.2.2 Escalabilidad de canales
- 4.2.3 Modulación COFDM
 - 4.2.3.1 Modo 2k
 - 4.2.3.2 Modo 8k
- 4.2.4 Detección de espotro
- 4.2.5 Tasa de transmisión
- 4.2.6 Sistema de transmisión DVB terrestre

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

- 4.2.6.1 Alimentación de audio
- 4.2.6.2 Codificación Runst-Solomon
- 4.2.6.3 Entrelazador interno
- 4.2.6.4 Codificación Convencional
- 4.2.6.5 Entrelazador externo
- 4.2.6.6 Mapa de modulación
- 4.2.6.7 DFTF
- 4.2.6.8 Intervalo de guarda
- 4.2.7 Sumas de transmisión DVB por cable
 - 4.2.7.1 Redes CATV
 - 4.2.7.2 Modulación 64 QAM y 32 QAM
 - 4.2.7.3 Tasa de transmisión
 - 4.2.7.4 Conversión de los sumas de cable
 - 4.2.7.4.1 Acheo de banda
 - 4.2.7.4.2 Linealidad
 - 4.2.7.4.3 Señal a ruido
 - 4.2.7.4.4 Potencia
 - 4.2.7.5 Señales DVB-T en redes de cable
 - 4.2.7.5.1 Conversión de DVB-T a DVB-C
 - 4.2.7.5.2 No linealidad
 - 4.2.7.5.3 Equalización adaptativa
- 4.2.8 Sumas de transmisión DVB por satélite
 - 4.2.8.1 Parámetros que caracterizan el satélite
 - 4.2.8.1.1 Posición orbital
 - 4.2.8.1.2 Acheo de banda de transponder
 - 4.2.8.1.3 Potencia
 - 4.2.8.1.4 Cobertura
 - 4.2.8.1.5 Disponibilidad
 - 4.2.8.1.6 No linealidad
 - 4.2.8.2 DVB-SMATV
 - 4.2.8.2.1 SMATV-A
 - 4.2.8.2.2 SMATV-B
 - 4.2.8.3 Sumas de transmisión DVB por microondas

V

RECEPCIÓN

ANTECEDENTES
 Comunicaciones Analógicas, Comunicaciones Digitales, Análisis de sistemas y señales, Diseño Digital, Presentaciones digital de señales

OBJETIVOS

El alumno conocerá los procesos elementales de los sistemas de televisión digital ATSC y DVB, así como sus principales características en los canales terrestres, satélite y cable.

CONTENIDO

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- 5.1.2 Recepción de señales digitales
 - 5.1.2.1 Equipo de recepción
- 5.1.3 Resolución en recepción de DTV
 - 5.1.3.1 La relación de aspecto en televisión
 - 5.1.3.1.1 Señales en 4:3 y 4:4
 - 5.1.3.1.2 Conversión de relación de aspecto (ARC)
 - 5.1.3.1.3 Conversión anamórfica
 - 5.1.3.1.4 Conversión de interlazo
 - 5.1.3.2 Televisión SDTV y HDTV
 - 5.1.3.2.1 Señal de video compuesto
 - 5.1.3.2.2 Señales en 1296/90 y 1125/60
 - 5.1.3.2.3 Digitalización de la señal. Parámetros para 1125/60i y 1296/50i:1 en estándares 4:2:2
 - 5.1.3.2.4 Formato de HDTV y SDTV

5.2 Receptor ATSC

- 5.2.1 Proceso de recepción digital
- 5.2.2 Detección de sincronización de régimen
- 5.2.3 Detección de sincronización de tiempo
- 5.2.4 Recuperación de sincronización de campo
- 5.2.5 Recuperación de sincronización de cuadro
- 5.2.6 Escanizador
- 5.2.7 Decodificador Trellis
- 5.2.8 Desentrelazador de Datos
- 5.2.9 Decodificador Runst-Solomon
- 5.2.10 Desentrelazador de filtro
- 5.2.11 Pajó de bits de transporte
- 5.2.12 Decodificador de transporte
- 5.2.13 Decodificador de video
- 5.2.14 Decodificador de audio

5.4 RECEPTOR DVB

- 5.4.1 Intervalo de Guarda
- 5.4.2 FFT
- 5.4.3 Ignelador
- 5.4.4 Demodulador de Trellis
- 5.4.5 Decodificador de información del sistema
- 5.4.6 Desentrelazador de información del sistema
- 5.4.7 Decodificador de Canal
- 5.4.8 Desentrelazador externo
- 5.4.9 Decodificador Runst-Solomon
- 5.4.10 Desentrelazador de Energía

5.5 SISTEMAS DE RECEPCIÓN EN TV DIGITAL

- 5.5.1 Diferencias DVB-T/ATSC
- 5.5.2 Sumas de recepción terrestre digital
 - 5.5.2.1 Sumas de televisión digital por cable
 - 5.5.2.2 Sumas de televisión digital por microondas
 - 5.5.2.3 Sumas de televisión digital por satélite
 - 5.5.2.4 Sumas de televisión digital terrestre

5.5.3 Recepción móvil

- 5.5.4 Sumas de acceso
 - 5.5.4.1 Técnicas de acceso multiplexadas
 - 5.5.4.2 Sistemas de acceso condicional
 - 5.5.4.2.1 Proceso de acceso condicional
 - 5.5.4.2.2 Simulcast vs. Multicast
 - 5.5.4.3 Modo de acceso condicional
 - 5.5.4.4 Técnicas utilizadas para el Acceso Condicional

5.6 RECEPTOR DRECODIFICADOR DTEGORADO

- 5.6.1 ¿Qué es un "Set-Top-Box"?
- 5.6.2 Funcionamiento del IRD
 - 5.6.2.1 Primera generación
 - 5.6.2.2 Segunda generación
 - 5.6.2.3 Tercera generación
- 5.6.3 Software para IRD's
- 5.6.4 Hardware para set top box.

5.7 CANAL DE RETORNO

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

VI SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

ANTECEDENTES

Ninguno

OBJETIVOS

Que el alumno obtenga un panorama general de la situación de la televisión digital en el mundo, la televisión interactiva y los servicios que se ofrecen

CONTENIDO

- 6.1 TELEVISIÓN DIGITAL INTERACTIVA
 - 6.1.1 Pasaporte general de la Televisión Digital Interactiva (DTVI)
 - 6.1.2 Interfaces de programación de aplicaciones (API)
- 6.2 PRINCIPALES PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS
 - 6.2.1 Nova-TV
 - 6.2.2 OpenTV
 - 6.2.3 Libras
 - 6.2.4 World Communications
 - 6.2.5 Worldgate
- 6.3 ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL INTERACTIVA
 - 6.3.1 OpenCable
 - 6.3.2 Multimedia Home Platform (MHP)
 - 6.3.3 DTV Application Software Environment (DASE)
- 6.4 SERVICIOS QUE OFRECE LA TELEVISIÓN DIGITAL
 - 6.4.1 Servicios y aplicaciones
 - 6.4.2 Internet en DTV
 - 6.4.2.1 Funcionamiento
 - 6.4.2.2 Algunos planes de internet
 - 6.4.3 Servicios audiovisuales
 - 6.4.3.1 Canal místico
 - 6.4.3.2 Pay per view
 - 6.4.3.3 Digital Video Recorder (DVR)
 - 6.4.4 Servicios interactivos
 - 6.4.4.1 Quiz
 - 6.4.4.2 Quizzes
 - 6.4.4.3 Juegos
 - 6.4.4.4 Anuncios interactivos
 - 6.4.4.5 El comercio
 - 6.4.4.6 Multipantalla
 - 6.4.5 Descargas
- 6.5 LOS SISTEMAS DE DTV ADOPTADOS EN EL MUNDO
 - 6.5.1 Países que adoptaron ATSC
 - 6.5.2 Países que adoptaron DVB
 - 6.5.3 Países que adoptaron ISDB
 - 6.5.4 Fuentes de la televisión digital en México
 - 6.5.4.1 Televisión digital en la UNAM
- 6.6 ORGANIZACIONES QUE CONTRIBUYEN A LA ESTANDBARIZACIÓN DE LA TV DIGITAL
 - 6.6.1 DVB (Digital Video Broadcast)
 - 6.6.2 ATSC (Advanced Television Systems Committee)
 - 6.6.3 ECA (The European Cable Communications Association)
 - 6.6.4 FCC (Federal Communications Commission)
 - 6.6.5 CABLE LABS
 - 6.6.6 ETSI
 - 6.6.7 DAVIC
 - 6.6.8 W3 (WWW)

1 TÉCNICAS DE ENSEÑANZA

Exposición oral.....(X)	Exámenes parciales.....(X)
Exposición audiovisual.....(X)	Exámenes finales.....(X)
Ejercicios dentro de clase.....(X)	Trabajos y tareas fuera del clase.....(X)
Ejercicios fuera del aula.....(X)	Participación en clase.....()
Seminarios.....()	Otros.....()
Lecturas obligatorias.....(X)	
Trabajos de investigación.....(X)	
Prácticas de taller o laboratorio.....()	
Prácticas de campo.....()	
Otros.....	

ANTECEDENTES

ASIGNATURA	CLAVE
ANÁLISIS DE SISTEMAS Y SEÑALES	1400
COMUNICACIONES ANALÓGICAS	1833
COMUNICACIONES DIGITALES	0190
ESTADÍSTICA	1517
PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	1833

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA	
TEXTOS BÁSICOS	
temas de la memoria para los que se reconocen	
Berlago Vicente Freud Compilado Raimond Masana Fernandez Diaz Manuel Lain Margaron "Televisión Digital" U N A M México, 2003	Teoría
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	
Drew, Gordon "Coding and modulation for digital television" Kluwer Academic Publishers E F L L 2001	IV
Fundación Universidad Autónoma de Colombia Congreso de video digital "http://www.fua.edu.co/congreso/temario/temario_investigaciones/telecomunicacion" Colombia, 2003	II, III
Long, Mark "The digital services TV handbook" Newnes England 1999	IV, V
Tvdi net Televisión Digital Interactiva en España "http://www.tvdi.net" España 2001	VI
Walsham, John "The art of digital video" Focal Press E F L U 2000	III

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conclusiones

Como en cualquier proyecto y específicamente hablando de la valoración es necesario cotejar los resultados obtenidos contra los esperados al inicio del mismo. De igual forma con este trabajo de investigación se organizó y estructuró la información de la tecnología de televisión digital que consideramos fundamental para dar un panorama general, así como sus alcances y posibilidades, cubriendo gran parte de los objetivos planteados inicialmente.

Iniciamos este trabajo analizando necesidades reales de actualización, realizando una recopilación de información existente y planteamos la forma de organizarla de forma tal que sea accesible a quien se interese en esta tecnología digital. Así pues, esta investigación aporta a la bibliografía ya existente en español, un volumen de referencia que contribuye al estudio y análisis de los sistemas de televisión digital actuales y se hace en un momento oportuno, ya que la etapa de implementación en que se encuentran dichos sistemas es aún transitoria y esto permite poder asimilar los cambios de tecnología en esta área anticipadamente respecto de la implementación final en nuestro país.

Es importante mencionar que el temario de asignatura que se propuso está definido en un contexto en el cual la TV Digital en México se encuentra en fase de pruebas, por lo que aún no se adopta oficialmente un estándar específico. De ahí que se propone estudiar los sistemas ATSC y DVB. Es de notar que este temario se encuentra lo más detallado posible, para guiar siguiendo una línea de aprendizaje escalonada al docente, alumno o interesado; sobre la tecnología de la televisión digital. De lo anterior se hace notar que cuando se adopte un estándar específico habría que profundizar en su estudio.

Las tecnologías digitales en la producción, transmisión y emisión de TV están cambiando rápidamente los conceptos establecidos de la difusión, gracias al progreso en el desarrollo de circuitos integrados que ha contribuido significativamente para implementar los sistemas de compresión de audio y video basado en la técnica de MPEG. Así pues, el desarrollo de algoritmos que contribuyen a la reducción de la tasa de bits, tales como la DCT con compensación de movimiento y que son implementados en dichos circuitos, forman la base de flexibles y eficientes decodificadores de fuente para DTV.

Se observa que los sistemas (ATSC y DVB) DTV coinciden en cuanto a la codificación de fuente mediante MPEG-2 y el esquema de codificación de canal es muy similar ya que utilizan codificación de protección de errores concatenados, los cuales permiten proveer recepción casi libre de error. Las principales diferencias que encontramos es el método de modulación para cada una de las aplicaciones estudiadas (terrestre, cable, y satélite) debido a que cada uno de estos tiene características propias del canal de comunicación.

La selección del mejor sistema de difusión depende del tipo de aplicación, por lo que al seleccionar un sistema DTV los diferentes países podrían utilizar distintas implementaciones de acceso a estos, tales como: enmascaramiento de emisión y parámetros técnicos en el proceso; dependiendo de su espectro, recursos, reglamentos, distribución de población, calidad de servicio requerido, etc. En consecuencia, la selección final de un sistema de modulación DTV debe basarse en cual bueno puede resultar el sistema elegido para condiciones particulares y/o prioridades de cada país, así también factores no técnicos (pero críticos) como lo son los geográficos, económicos, y relaciones políticas con los países y regiones aledañas. Cada país entonces, necesita establecer claramente sus necesidades e investigar información disponible acerca de los sistemas DTV para hacer su mejor selección.

Por tanto, consideramos que esta investigación aporta los fundamentos para estudiar los sistemas DTV ya que contiene los elementos suficientes para comprenderlo y que es la base para profundizar en cualquier tema específico concerniente a ésta tecnología.

Por otro lado debido a que todavía está en etapa de implementación la televisión digital, falta concretar estudios sobre distorsiones multitrajectoria, el impacto de la radiación de radiofrecuencia; la difusión no está siendo sometida a controles de cumplimiento, pero la conversión a DTV y las nuevas oportunidades de baja potencia (pudiéndose transmitir desde una torre de baja altura, cerca de otra emisora o sobre una azotea) pueden conducir a violaciones potenciales si no se supervisan de cerca y planifican adecuadamente; otro punto es la interferencia entre las nuevas difusoras de televisión digital y las analógicas existentes. Estos aspectos pueden generar otros trabajos de tesis.

Un punto para que se pueda realizar una rápida transición del sistema analógico a digital, es contar con un servicio de televisión digital terrestre, que aleje a los televidentes de los servicios analógicos, dado que están acostumbrados a recibir gratis los programas de difusión de televisión terrestre y abierta, además, los servicios de televisión por cable y satélite por razones económicas jamás cubrirán la totalidad del mercado. Una opción puede ser el estándar europeo de transmisión/recepción digital terrestre si se quiere lograr el cambio pues además permite un modelo mixto de televisores: fijo, portátil y móvil. Como dato se tiene que en E.U.A. los bajos costos, incitan a los consumidores a comprar televisores y sintonizarlos con los servicios de TV digital terrestre. Contrariamente, en Europa un Set-Top Box es más atractivo para los consumidores que el comprar un televisor nuevo digital.

Finalmente consideramos que con este trabajo es imposible realizar predicciones a más de dos años debido a que la utilización de técnicas digitales en televisión aporta ciertas ventajas sobre los actuales sistemas analógicos, como mejoras en la calidad de la señal, mayor eficiencia en el uso del espectro frecuencial, rechazo a la interferencia cocanal y de canal adyacente, posibilidad de ofrecer un mayor número de servicios y compatibilidad con los sistemas de cable y satélite por lo que el desarrollo tecnológico será incesante; pero si conviene resaltar que lo fundamental para comprender esta tecnología se encuentra aquí plasmada, y que conforme avance la tecnología este trabajo tendrá que ser ampliado.

Bibliografía**Libros consultados**

1. Long, Mark
"The digital satellite TV handbook"
Newnes England 1999
2. Watkinson, John
"The art of digital video"
Focal Press E.U.A. 2000
3. Drury, Gordon
"Coding and modulation for digital television"
Kluwer Academic Publishers E.U.A. 2001
4. Richard, Brice
"Newnes guide to digital televisión"
England 2000
5. B.P.Lathi
"Modern Digital and Analog Communications Systems"
Oxford University press E.U.A. 1998
6. Gordon White
"Técnicas del video"
IORTV España 1988
7. Blair Benson
"Television Engineering Handbook "
Mc. Graw Hill E.U.A. 1992
8. H. Benoit
"Satellite television techniques of analogue and digital television"
London 1999
9. Leon W. Couchll
"Sistemas de comunicación digitales y analógicos"
Pearson educación México 1998

Artículos consultados

1. Digital television transmission parameters-analysis and discussion
Eilers, C.; Sgrignoli, G.;
Broadcasting, IEEE Transactions on , Volume: 45 Issue: 4 , Dec 1999
2. Hierarchical transmission and COFDM systems
O'Leary, S.;
Broadcasting, IEEE Transactions on , Volume: 43 Issue: 2 , Jun 1997
3. Commonalities and peculiarities of DVB-S, DVB-C and DVB-SMATV systems (COMM's and PEC's of DVB systems)

- Sesena, J.;*
Broadcasting Convention, 1995. IBC 95., International , 14-18 Sep 1995
- 4 DVB-T signal in cable TV network: advantages and limitations
Hazmi, A.; Rinne, J.; Renfors, M.;
Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on , Volume: 7 , 2001
- 5 37 Satellite digital TV reception through domestic TV networks (SMATV)
Sesena, J.; Prieto, H.;
Broadcasting Convention, 1995. IBC 95., International , 14-18 Sep 1995
- 6 MPEG-2 for DVB and cable
Drury, G.M.;
MPEG-2 - What it is and What it isn't, IEE Colloquium on , 24 Jan 1995
- 7 Hierarchical transmission and COFDM systems
O'Leary, S.;
Broadcasting, IEEE Transactions on , Volume: 43 Issue: 2 , Jun 1997
- 8 Digital video broadcasting on cable television media
Drury, G.M.;
DVB (Digital Video Broadcasting): The Future for Television Broadcasting?, IEE Colloquium on (Digest No.1995/142) , 27 Jun 1995
- 9 Comparison of terrestrial DTV transmission systems: the ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM, and the ISDB-T BST-OFDM
Yilan Wu; Pliszka, E.; Caron, B.; Bouchard, P.; Chouinard, G.;
Broadcasting, IEEE Transactions on , Volume: 46 Issue: 2 , Jun 2000

Referencias electrónicas

1. Fundación Universidad Autónoma de Colombia
Compresión de video digital
<http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/Ingenieria>
2. Tvdí.net
Televisión Digital Interactiva en España
<http://www.tvdi.net>
3. Centro para el Desarrollo de las Telecomunicaciones de Castilla y León (CEDETEL)
"Laboratorio experimental de comercio electrónico sobre banda ancha"
<http://www.cedetel.es/publicaciones/e-comm.pdf>
4. <http://www.tvyvideo.com>
5. Advanced Television Systems Committee
<http://www.atsc.org>
6. ATSC Forum

<http://www.atscforum.org>

7. DVB Digital Video Broadcasting

<http://www.dvb.org>

8. Grupo universitario de investigación en televisión digital

http://enlinea.cuaid.unam.mx/tv_digital