

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL ATSC Y ANÁLISIS DE SU IMPLEMENTACIÓN TERRESTRE EN MÉXICO

### TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN:

ALBERTO OLIVER MARTÍNEZ JUÁREZ  
EVERARDO VILLAGÓMEZ VÁZQUEZ



ASESORA DE TESIS:

DRA. FÁTIMA MOUMTADI

CIUDAD UNIVERSITARIA

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

---

## Agradecimientos

---

Esta tesis de **Ingeniero en Telecomunicaciones** la dedico...

Con cariño a mis padres, María de Lourdes Juárez Hernández y José Alberto Martínez González quienes incondicionalmente han estado a mi lado toda la vida y a quienes nunca podré resarcir la atención que siempre me han brindado.

A mi hermano Ricardo, cuyas acciones y forma de ser han sido un ejemplo y un estímulo para mi crecimiento.

A mis abuelitos, Ignacia Hernández y Marcos Juárez, de quienes he recibido todo su cariño y apoyo incondicional, pero sobre todo por dejarme sentir su enorme y asombrosa calidad humana. A la memoria de mi abuelito José Martínez q.p.d. y mi abuelita Josefina González q.p.d.

Muy especialmente para ti Sandy, que con anticipación me has dejado ver la cariñosa y comprometida mujer con quien compartiré los siguientes años de mi vida.

Everardo, fue una distinción trabajar contigo y enarbolar una estrecha amistad que inició con este proyecto.

Con especial cariño para mis maestros de la Universidad Nacional Autónoma de México, a quienes debo buena parte mi formación. A mis profesores de la Facultad de Ingeniería, muchas gracias por su paciencia y conocimientos transmitidos para el alcance de esta meta personal, especialmente a los integrantes del Departamento de Telecomunicaciones, por el apoyo que me otorgaron todos estos años, pero muy encarecidamente a la Doctora Fátima Moumtadi por tener un voto de confianza en mí para la redacción de este trabajo, poner a prueba su paciencia, y por su afecto.

Al Ingeniero Leonardo Ramos Mateos, cuyos amplios conocimientos pero sobre todo calidez humana permitió documentar y enriquecer este trabajo. Gracias a las personas que colaboran con él por sus consideraciones para la conclusión de esta tesis.

A mis tíos y primos, cuya lista de nombres en esta hoja no me dejará dormir tranquilo por temor de olvidar mencionar a alguno de Ustedes, parte importante de mi formación personal y profesional, cuyo afecto es intocable y profundo. A todos ¡gracias!

A los compañeros de escuela, **amigos** y todas aquellas personas que supieron del proyecto que inicié cuando soñaba ser Ingeniero, su conversación y opiniones son invaluable. Gracias a mis compañeros en el trabajo por sus palabras de aliento.

¡Señor, gracias!, porque finalmente se tocó la meta de este maratón.

**Alberto Oliver Martínez Juárez.**

*Este trabajo se lo dedico a todos aquellos que contribuyeron a que concluyera mi meta de ser Ingeniero en Telecomunicaciones. En especial:*

*A mi papá Everardo Villagómez Valadez, a mi mamá Amalia Vázquez Cortés y a mis hermanos Emilio Villagómez V. y Jesús Villagómez V., que me brindaron todo su apoyo, amor y comprensión incondicional y que han creído en mí en todo momento.*

*A mis abuelos paternos Emilio Villagómez López y María Teresa Valadez Romero por todo el cariño que me han brindado y todas las cosas buenas que han hecho por mí desde que era pequeño. A la memoria de mis difuntos abuelos maternos Blas Vázquez Lechuga y Caritita Cortés Sosa que en paz descansen, aunque no tuve la fortuna de conocerlos en vida, les doy las gracias por brindarme la oportunidad de contar con la mejor mamá del mundo.*

*A mis tíos y a mis primos, con los cuales he compartido muchas anécdotas desde mi infancia, me han apoyado a mí y a mi familia en todo momento y han forjado parte de mi personalidad y carácter.*

*A mi compañero de tesis, Oliver Martínez, con el cual compartí la ardua tarea de realizar este trabajo, y el cual ha demostrado ser un compañero invaluable y gran amigo.*

*Al Ing. Leonardo Ramos Mateos, por su ayuda y orientación proporcionada sin lo cual este trabajo no hubiera sido posible.*

*A la Dra. Fátima Moumtadi por su compromiso, apoyo, consejos, tiempo y confianza brindada en la realización del presente trabajo.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.*

*A todos mis profesores que contribuyeron en mi formación profesional con sus enseñanzas y consejos y que me ayudaron a ser una mejor persona.*

*Gracias...*

**Everardo Villagómez Vázquez.**

---

# Índice

---

	<b>Pág.</b>
<b>Objetivo</b>	13
<b>Introducción</b>	15
<b>Capítulo 1. Televisión Analógica</b>	17
1.1. Principios	17
1.1.1. Disco de Nipkow	17
1.1.2. El tubo iconoscopio	18
1.2. Televisión monocromática (Blanco y Negro)	20
1.2.1. Elementos de una imagen	20
1.2.2. Barrido horizontal y vertical	21
1.2.3. Líneas por cuadro	22
1.2.4. Cuadros por segundo	22
1.2.5. Información de la señal de video	22
1.2.6. Imágenes en movimiento	24
1.2.7. Frecuencias de cuadros y de campos	25
1.2.8. Frecuencias de barrido horizontal y vertical	25
1.2.9. Sincronización horizontal y vertical	27
1.2.10. Borrado horizontal y vertical	28
1.3. Televisión cromática (a color)	28
1.3.1. Transmisor de TV a color	29
1.3.2. Receptor de TV a color	33
1.4. Estándares de televisión analógica	34
1.4.1. Phase Alternation Line (PAL)	37
1.4.2. Séquential Couleur à Mémoire (SECAM)	37
1.4.3. Combinaciones de los principales sistemas	38
1.5. Mejoras a la TV analógica	39
1.5.1. Televisión estereofónica	39
1.5.1.2 Sistema BTSC (Broadcast Television System Committee) o sistema MTS (Multichannel Television Sound, 1984, EIA, Estados Unidos).	40
1.5.1.3 Sistema de doble portadora o sistema FM-FM (Alemania, 1981).	41
1.5.1.4 Sistema NICAM 728	41
1.5.2. Visualización de diálogos en pantalla (Closed Caption)	42
1.5.3. Sonido envolvente (Surround sound)	43
1.5.4. Supervideo (S-Vídeo)	43
1.5.5. Imagen en imagen (Picture in Picture o PiP)	43
1.5.6. Pantallas planas	44
1.5.7. Pantallas de relación de aspecto 16:9	44
<b>Capítulo 2. Televisión Digital</b>	47
2.1. Ventajas de la TV digital sobre la analógica.	47
2.1.1. Ventajas para el usuario.	47
2.1.2. Ventajas para el gobierno.	49
2.1.3. Ventajas para los radiodifusores, fabricantes de equipo y proveedores de servicio.	49
2.2. Estándares de televisión digital.	50

2.2.1.	Estándar ATSC (Advanced Systems Television Committee).	50
2.2.2.	Estándar DVB (Digital Video Broadcasting).	51
2.2.3.	Estándar ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting).	53
2.3.	Conversión analógico/digital y digital/analógico.	53
2.3.1.	Teorema del Muestreo (PCM).	54
2.3.2.	Modulación de amplitud de pulsos (PAM, Pulse Amplitude Modulation).	58
2.3.3.	Modulación de pulsos codificados (PCM, Pulse-Code Modulation).	60
2.3.3.1.	Cuantización.	60
2.3.3.2.	Codificación.	61
2.3.3.3.	Proceso de muestreo.	61
2.3.3.4.	Proceso de cuantificación y codificación.	62
2.3.4.	Codificación de línea.	64
2.3.4.1.	Código AMI (Alternate Mark Inversion).	65
2.3.4.2.	Código HDB3 (High Density Binary 3).	65
2.3.5.	Recuperación de la señal de información $f(t)$ de la señal PCM.	66
2.3.6.	Convertidor Digital/Analógico (D/A).	66
2.4.	Técnicas de compresión de video y de imágenes.	67
2.4.1.	El estándar JPEG.	68
2.4.2.	El estándar MPEG.	69
2.4.2.1.	Principios del MPEG.	70
2.4.2.2.	Tipos de imágenes MPEG.	71
2.4.2.3.	Capas del MPEG.	72
2.4.2.4.	Predicción, estimación de movimiento y compensación.	72
2.4.2.5.	Control de la tasa de bits.	73
2.4.2.6.	Codificación de video MPEG.	73
2.4.2.7.	Codificación del video MPEG-2.	74
2.4.2.7.1.	Niveles y Perfiles del MPEG-2.	75
2.5.	Técnicas de compresión de audio.	77
2.5.1.	Principios de la compresión de audio	77
2.5.2.	Procesos de compresión de audio.	79
2.5.2.1.	Codificación de la sub-banda.	79
2.5.2.2.	Codificación por transformación.	81
2.5.3.	Compresión de audio con MPEG.	82
2.5.3.1.	Las capas de audio de MPEG.	83
2.5.4.	Compresión de audio Dolby Digital (AC-3).	84
<b>Capítulo 3.</b>	<b>Estándar ATSC.</b>	<b>87</b>
3.1.	Sistema de Televisión Digital ATSC de TV digital terrestre.	87
3.2.	Características del sistema de video.	89
3.2.1.	Niveles y perfiles de MPEG-2.	89
3.2.1.1.	Compatibilidad con MPEG-2.	89
3.2.2.	Panorama general de la compresión de video.	89
3.2.2.1.	Preprocesamiento de video.	90
3.2.2.2.	Formatos de compresión de video.	90
3.2.2.3.	Posibles entradas de video.	91
3.2.2.4.	Velocidad de muestreo.	91
3.2.2.5.	Colorimetría.	92
3.2.2.6.	Precisión de las muestras.	93
3.2.2.7.	Procesamiento adaptativo de fuente.	93
3.2.2.8.	Modo película.	93
3.2.2.9.	Separación del componente de color y procesamiento.	94
3.2.2.10.	Número de líneas codificadas.	94
3.2.2.11.	Secuencias concatenadas.	95
3.2.2.12.	Directrices para la restauración.	96
3.2.3.	Descripción del formato activo.	96
3.2.3.1.	Señalización del área activa.	97
3.2.3.2.	Estándares actuales.	98
3.3.	Características del sistema de audio.	99
3.3.1.	Operación del estándar AC-3.	100

3.3.2	Codificador AC-3.	100
3.3.2.1	Banco de filtros de transformación.	101
3.3.2.1.1	Función Ventana.	101
3.3.2.1.2	Transformada de Cancelación del Traslape en el Dominio del Tiempo. (Transformada TDAC-Time Domain Aliasing Cancellation)	102
3.3.2.1.3	Manejo de transitorios	102
3.3.2.2	Representación del audio codificado (Conversión a Punto flotante)	102
3.3.2.3	Asignación de bits	103
3.3.2.4	Acoplamiento	103
3.3.3	Sintaxis y elementos de la trama de bits	104
3.3.4	Empalme e inserción	104
3.3.5	Decodificador de AC-3	105
3.3.6	Servicios del sistema de audio	106
3.3.7	Tasas de bits típicas	107
3.4	Características del sistema servicio de transporte y multiplexaje	108
3.4.1	Cabecera del paquete PES	109
3.4.2	Paquete de flujo de transporte	111
3.4.2.1	Cabecera del paquete de flujo de Transporte	112
3.4.3	Flujo de Transporte	115
3.4.4	Información Específica de los Programas (PSI – Program Specific Information)	117
3.4.4.1	Arquitectura de las Tablas de Información del Servicio (SI)	119
3.4.4.2	Composición de las secciones	120
3.4.5.	Protocolo de Información de Programas y de Sistema (PSIP)	120
3.5	Características del sistema de transmisión y radiofrecuencia	121
3.5.1.	Procesamiento de datos.	121
3.5.1.1.	Aleatorizador de datos	122
3.5.1.2.	Codificador Reed-Solomon	122
3.5.1.3.	Entrelazado de datos	123
3.5.1.4.	Codificador trellis	124
3.5.2.	Procesamiento de la señal	124
3.5.2.1.	Sincronía e inserción de la señal piloto	124
3.5.2.2.	Modulador 8-VSB	126
3.5.2.2.1.	Modulación AM	126
3.5.2.2.2.	Filtro Nyquist	128
3.5.2.2.3.	Diagrama de ojo 8-VSB	129
3.5.2.2.4.	Constelación de la señal 8-VSB	130
3.5.2.3.	Convertor ascendente de RF	130
3.6	Receptor de TV digital terrestre	130
3.6.1	Sintonizador	131
3.6.2	Filtrado de canal y recuperación de la portadora VSB	133
3.6.3	Sincronía de segmento y recuperación del reloj	134
3.6.4	Control Automático de Ganancia	135
3.6.5	Sincronización del campo de datos	135
3.6.6	Filtro rechazador de interferencia	136
3.6.7	Ecuador de canal	139
3.6.8	Lazo seguidor de fase	140
3.6.9	Decodificador trellis	141
3.6.10	Desentrelazador de datos	142
3.6.11	Decodificador Reed-Solomon	143
3.6.12	Desaleatorizador de datos	143
<b>Capítulo 4. Implantación del Estándar ATSC en México</b>		<b>145</b>
4.1	Metodología de las pruebas de campo de Televisión Digital Terrestre	145
4.1.1	Plan de pruebas para DTV	146
4.1.2	Procedimientos de medición en exteriores	148
4.1.3	Procedimientos de medición en interiores	151
4.1.4	Metodología de análisis	151



4.2 Pruebas de campo realizadas en México	156
4.2.1. Planeación de las pruebas	157
4.2.2. Resultados obtenidos	160
4.3. Aspectos básicos para la elección del estándar ATSC	162
4.3.1. Aspectos técnicos	162
4.3.2. Aspectos económicos	164
4.3.3. Aspectos legales	164
4.3.4. Aspectos sociales	165
<b>Capítulo 5. Reglamentación de la Televisión Digital en México.</b>	<b>167</b>
5.1. Situación actual de la TV digital en México	167
5.2. Decretos, iniciativas de proyecto de ley y normas de operación de estaciones de Televisión Digital Terrestre	168
5.2.1. Norma Oficial Mexicana para la instalación y operación de estaciones TDT	169
5.3. Política de transición de TV analógica a TV digital	170
5.3.1. Canales adicionales para la transición a la televisión digital	171
5.3.2. Periodos de la transición	171
5.3.4. Requisitos para los concesionarios durante el periodo de transición	173
5.4. Acciones llevadas a cabo en Estados Unidos y otros países de Latinoamérica respecto a la adopción y transición a TV digital	175
5.4.1. Estados Unidos	175
5.4.2. Brasil	177
5.4.3. Argentina	179
5.4.4. Canadá	180
5.5. Futuro de la TV digital en México	181
<b>Conclusiones</b>	<b>185</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>189</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>193</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>199</b>
<b>Lista de acrónimos</b>	<b>201</b>

---

## Objetivo

---

Analizar el estándar de televisión digital ATSC (Advanced Television Systems Committee), justificar las razones del porqué se eligió implantar en México y reportar el contexto regulatorio, legal y económico de su implementación en el País.

---

## Introducción

---

Con la adopción del estándar de televisión digital ATSC (Advanced Television Systems Committee) en julio de 2004, México fue uno de los primeros países en Latinoamérica en introducir tecnología digital para la televisión. La decisión de adoptar un estándar de televisión digital, independientemente de que fuera el ATSC, significó un paso importante para el avance tecnológico en nuestro país, ya que en muchas naciones la introducción de esta tecnología ya se encuentra en etapas avanzadas y no convenía tener rezagos en este aspecto, debido principalmente a las ventajas que supone para el usuario, Gobierno y radiodifusores contar con un servicio de televisión digital.

La selección del estándar ATSC fue una decisión que se tomó con formalidad. Sin duda, el Gobierno mexicano estaba predispuesto a adoptar este estándar debido a que es el que utiliza Estados Unidos, país con el cual se mantienen estrechas relaciones tecnológicas, comerciales y una frontera geográfica común.

El tema del presente trabajo gira en torno a las características del estándar ATSC y a las pruebas y evaluaciones que se llevaron a cabo en México, junto con los resultados y conclusiones que éstas arrojaron. También reseña el análisis de los factores técnicos, económicos, sociales y legales que se hicieron para fundamentar la elección de dicho estándar.

A finales de los años 90, cuando se consideró con seriedad la introducción de esta tecnología en México, se creó el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión (CCTDR), un grupo formado por representantes de la industria de la radiodifusión y el Gobierno que se encargó de realizar las evaluaciones técnicas entre los estándares ATSC, DVB e ISDB, y pronosticar sus repercusiones económicas, sociales y legales.

Cabe mencionar que México también fue uno de los primeros países en el mundo en realizar pruebas de campo simultáneas con los tres estándares para comprobar su desempeño, y con base en los resultados obtenidos de estas pruebas de evaluación se determina que el estándar estadounidense ATSC es el más adecuado para nuestro país.

En el capítulo 1 se hace una descripción de los principios de funcionamiento de la televisión analógica, así como una reseña desde sus inicios hasta sus últimos avances y mejoras.

El capítulo 2 aborda la televisión digital y sus ventajas sobre la televisión analógica; sus principios de operación por los cuales ésta es posible, las técnicas de conversión analógico a digital y viceversa, y las técnicas de compresión de audio y video, así como una breve descripción de los estándares existentes con sus principales características.

En el capítulo 3 se describen concretamente las características del ATSC, mas específicamente el estándar A/53, donde se encuentran los procesos de transmisión como la codificación de audio y video, el transporte y multiplexaje de la señal y la modulación, hasta los procesos que se realizan en la recepción. En el capítulo 4 se resumen las etapas que dio México para la adopción del estándar de televisión digital. Desde la planeación de las pruebas técnicas por parte de CCTDR hasta los resultados y conclusiones que este grupo arrojó, incluyendo por supuesto los aspectos económicos, sociales y legales que se consideraron.

Finalmente el capítulo 5, que versa sobre la reglamentación de la televisión digital en México, se hace un compendio de todos los acuerdos y recomendaciones que han sido emitidos por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se comenta la Política para la Transición a la Televisión Digital, publicada el 2 de Julio del 2004, y los requisitos que establece para los radiodifusores. También se abordan brevemente las reformas a la Ley Federal de Radio y Televisión y la Ley Federal de Telecomunicaciones, aprobadas a finales de marzo de 2006. Como colofón, se exponen otros temas de interés como el estado actual que tiene la televisión digital en México y lo que puede presentarse en un futuro para esta tecnología.

## Capítulo 1. Televisión Analógica

---

### 1.1. Principios

La televisión no fue una tecnología que se ideó como la conocemos hoy día, ya que su evolución abarca diferentes etapas de desarrollo. El televisor nace a partir de la suma de investigaciones simultáneas que se desarrollaron por separado en el mundo.

La palabra “televisión”, que significa *visión a distancia* proviene de la voz griega “*Tele*”, distancia, y la latina “*visio*”, visión, se usó varios años después de las primeras investigaciones realizadas en 1900 y durante una conferencia en el Congreso Internacional de Electricidad celebrado en París, Francia. Antes de que se acuñara el término “televisión”, a la transmisión de imágenes por medio de ondas electromagnéticas se le llamaba “fototelegrafía”.

Destacan por sus aportaciones e investigación en la “fototelegrafía”, el ingeniero alemán Paul Nipkow, quien en 1884 patenta su disco de exploración lumínica, más conocido como Disco de Nipkow; John Logie Baird, escocés que en 1923 desarrolla y perfecciona el Disco de Nipkow con base en celdas de Selenio; los estadounidenses Ives y Jenkins, quienes se basaron en los estudios de Nipkow; y el ruso Vladimir Sworykin, quien emigró a Estados Unidos, y fuera gestor del desarrollo del iconoscopio, un tubo de rayos catódicos que transforma la imagen luminosa en señales eléctricas para su transmisión.

#### 1.1.1. Disco de Nipkow

El primer modelo de televisión fue un dispositivo mecánico basado en el disco de Nipkow. Este invento que se ilustra en la figura 1.1.1.a), era un disco plano que estaba perforado por una serie de pequeños agujeros (en total 18) dispuestos en forma de espiral partiendo desde el centro. De esta manera, al hacer girar el disco delante del ojo, el agujero más alejado del centro exploraba una franja en la parte más alta de la imagen y así sucesivamente hasta abarcar toda la imagen, los haces luminosos incidentes a través de los agujeros durante el proceso de exploración del disco repercutían en una celda fotoeléctrica, la cual, dependiendo de la intensidad luminosa, producía una corriente eléctrica variable, esta celda se encontraba conectada a una fuente de luz, que iluminaba otro Disco de Nipkow girando a la misma velocidad que el primero, para finalmente proyectar la imagen explorada sobre una pantalla como ilustra la figura 1.1.1. b).

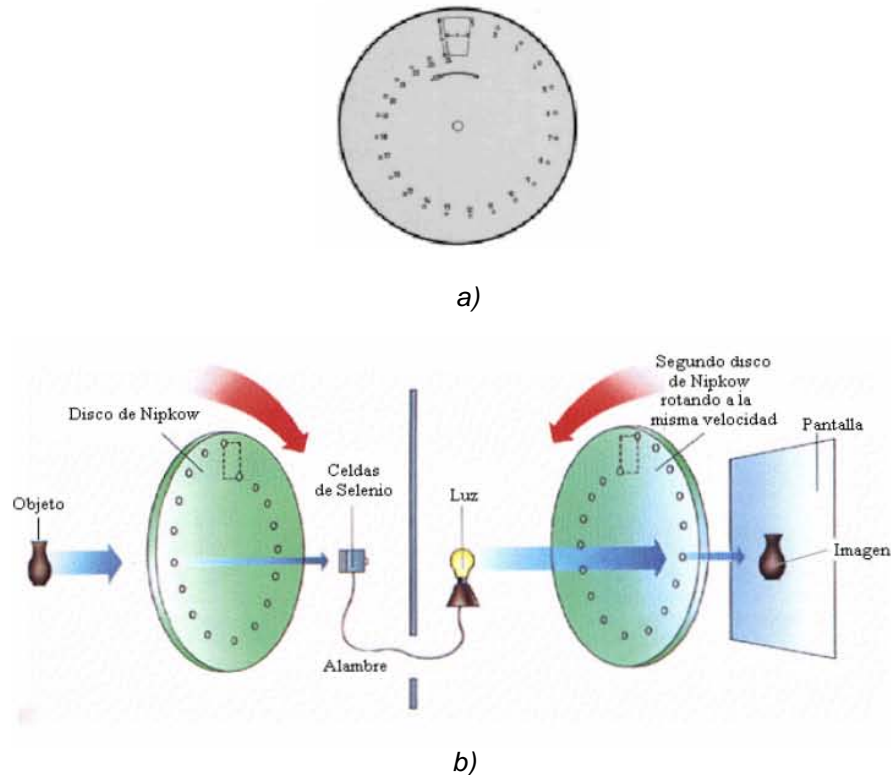


Figura 1.1.1 a) disco de Nipkow, b) Principio de la captura de imágenes con base en el disco de Nipkow.

Este tipo de televisión, debido a su naturaleza mecánica, no funcionaba eficazmente para objetos grandes y la definición de la imagen era limitada porque no se podían alcanzar altas velocidades. La construcción y velocidad de las imágenes de este sistema mecánico, empleado por Baird, eran originalmente de 30 líneas y 12.5 imágenes por segundo. A pesar de que se mejoró notablemente con el transcurso del tiempo, siempre fue pobre en comparación con el sistema electrónico. Este sistema de 30 líneas de resolución empleaba un canal normal de radiodifusión, donde la totalidad del canal estaba ocupada por la señal de video, por lo que la primera transmisión simultánea de audio y video tuvo lugar hasta el 31 de diciembre de 1930. Para fines de 1932, ya se habían vendido más de 10 mil receptores de esta televisión mecánica.

En julio de 1928 Charles F. Jenkins comenzó a transmitir imágenes exploradas principalmente de películas con cierta regularidad y con una definición de 48 líneas desde la estación experimental W3XK, en Washington, Estados Unidos. Ese mismo año Baird transmitió imágenes desde Londres a Nueva York, con lo cual atrajo el interés de la BBC (British Broadcasting Corporation) de Londres, y el 10 de septiembre de 1929, comenzó con emisiones de prueba en colaboración con Baird, iniciando sus transmisiones oficiales el 30 de septiembre del mismo año.

### 1.1.2. El tubo iconoscopio

La verdadera revolución tecnológica comenzó con la llegada de la televisión electrónica, fundada en los experimentos de Sworykin, quien se unió a la Westinghouse y comenzó sus investigaciones a principios de la segunda década del siglo 20, empleando un tubo de rayos

## Capítulo 1. Televisión Analógica

catódicos para el aparato receptor y un sistema de exploración electrónica para la transmisión. Su descubrimiento fue bautizado como *tubo iconoscopio*, y su primera patente data de 1923.

El iconoscopio es un tubo de cámara de televisión en el cual un haz de electrones escanea una placa fotoeléctrica a alta velocidad. Este dispositivo se muestra en la figura 1.1.2.

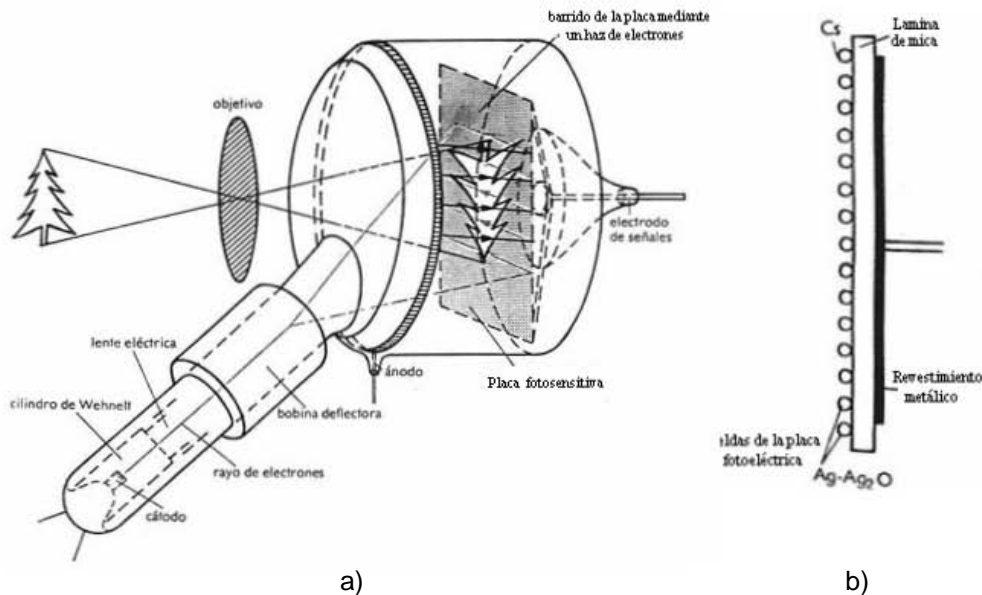


Figura 1.1.2. a) Principio de funcionamiento del tubo iconoscopio, b) condensador formado entre las celdas de la placa fotoeléctrica y un electrodo común detrás de ésta.

Aquí las imágenes son proyectadas en la placa fotoeléctrica a través de un objetivo, esta placa está conformada por miles de celdas fotoeléctricas, las cuales parten la imagen en miles de elementos de imagen o píxeles, y que por lo tanto retienen una carga de una magnitud que depende de la intensidad de luz proyectada en ellas. Después, un haz de electrones enfrente de la placa explora cada una de las celdas de la placa provocando que estas celdas cargadas, que como se muestra en la figura 1.1.2.b), funcionan como electrodos de un condensador cuya segunda placa metálica se encuentra justo detrás separada por una lamina de mica y es común para todas las celdas) se propaguen como impulsos hacia un amplificador y después a un emisor. Es de esta forma como una imagen visual es convertida en una señal eléctrica. Sin duda este invento fue la base para el desarrollo y mejoramiento de posteriores tubos de cámara ya que muchos conceptos se conservaron como el haz de electrones y la placa fotoeléctrica.

Este fue el invento que permitió el desarrollo de la televisión electrónica, ya que se podían capturar imágenes sin ayuda de algún procedimiento mecánico, como el disco de Nipkow, y gracias a lo anterior ahora se hacía de manera electrónica. Para fines de los años 40, la televisión electrónica de Sworykin había desplazado por completo a la mecánica e iniciaba la disputa por el desarrollo de la televisión a color. Ya antes de esta innovación, Sworykin había sugerido la idea de estandarizar los sistemas de TV que se desarrollaban en paralelo en todo el mundo. Debido a esta inquietud, a principios de los años 40 Estados Unidos creó el NTSC (National Television System Committee) que velaba por que las normas de fabricación de los aparatos de televisión fueran compatibles entre las diferentes empresas estadounidenses dedicadas a la producción de televisores. Así en julio de 1941 se estandarizó el sistema, de 325 líneas, válido para todo Estados Unidos. [35][38][39]

## Capítulo 1. Televisión Analógica

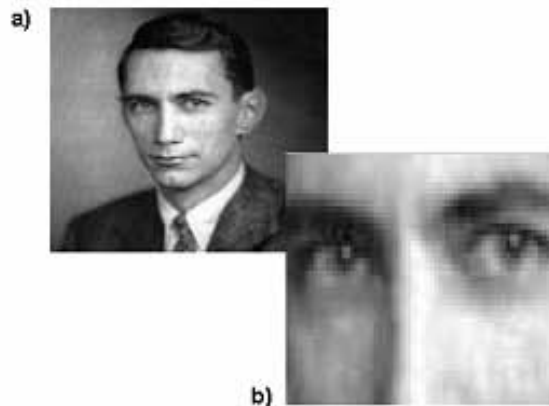
En 1934 el mexicano Guillermo González Camarena, de 17 años de edad, construye su propio televisor, que se convierte en el primero de varios inventos que aportara para el desarrollo de la televisión. Cinco años después patenta en México su sistema tricromático de secuencia de campos de televisión, y más adelante también tramitaría la patente de esta innovación en Estados Unidos.

### 1.2. Televisión monocromática (Blanco y Negro)

Aunque parezca que las imágenes de televisión se mueven, en realidad la TV reproduce una imagen inmóvil. Una serie sucesiva de imágenes se muestra con suficiente rapidez para dar la ilusión de movimiento. La cinematografía es un ejemplo que emplea el mismo concepto. [15]

Cada imagen es un grupo de pequeñas áreas de luz o sombra. La figura 1.2.1.b) está amplificada para mostrar los detalles de la imagen fija de la figura 1.2.1.a). Durante la emisión, los puntos de luz y sombra que varían corresponden a la señal de video que envía información de la imagen.

Cuando las variaciones son en un "color" (blanco, gris y negro), la reproducción se llama monocromática.



*Figura 1.2.1. a) Imagen fija; ilustra la información de imagen. b) Vista amplificada; muestra los elementos individuales de la imagen.*

#### 1.2.1. Elementos de una imagen

Cada pequeña área de luz o sombra se llama píxel, o un pel, términos que provienen de acortar "picture element". Todos los elementos juntos contienen la información visual de la escena. Si se transmiten y reproducen con el mismo grado de luz o sombra que el original y en la posición adecuada, entonces se reproduce la imagen.

Como ejemplo, suponga que se desea transmitir la imagen de una cruz sobre un fondo blanco (figura 1.2.2). El fondo es blanco y los píxeles que forman la cruz son oscuros. Cuando se transmite cada elemento de la imagen al lado derecho de la figura y se reproduce en su posición original con su tono de blanco u oscuro, la imagen se duplica.



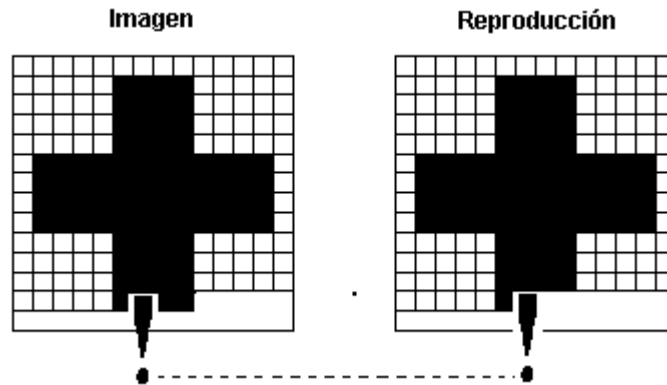


Figura 1.2.2. Reproducción de una imagen duplicando sus elementos de imagen.

### 1.2.2. Barrido horizontal y vertical

Una imagen de televisión se barre en una serie o secuencia de líneas horizontales, una abajo de la otra (figura 1.2.3). Este barrido hace posible que una señal de video incluya todos los elementos de la imagen completa. Con la finalidad de tener una señal de video para todas las variaciones de luz y sombra, todos los detalles (elementos) de la imagen se barren en un orden secuencial de tiempo.

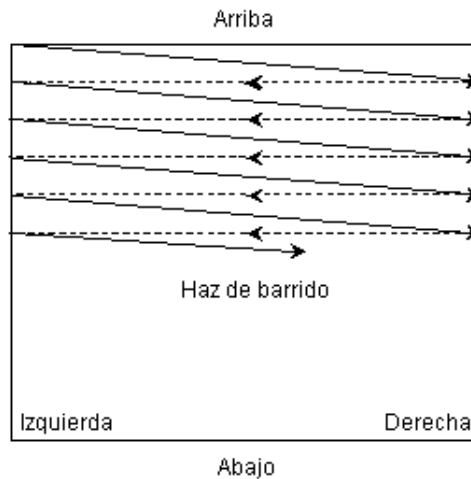


Figura 1.2.3. Cómo se realiza el barrido lineal horizontal, línea por línea.

En la emisión de televisión, la imagen se reensambla línea por línea y cuadro por cuadro. (Este factor de tiempo explica por qué una imagen de TV puede aparecer con la estructural lineal descompuesta en segmentos diagonales).

La imagen de TV se barre o explora de la misma manera en que se lee una página de texto; se cubren todas las palabras en una línea y todas las líneas de la página. Al comenzar en la esquina superior izquierda en la figura 1.2.3, todos los elementos de imagen se barren en orden sucesivo, de izquierda a derecha y de arriba abajo, una línea a la vez. Este método se denomina barrido lineal horizontal. Se emplea en el tubo de cámara del transmisor para dividir la imagen de elementos, y en el tubo de imagen del receptor para reensamblar la imagen reproducida.

## Capítulo 1. Televisión Analógica

La secuencia para el barrido de todos los elementos de una imagen es la siguiente:

1. El haz de electrones barre una línea horizontal, cubriendo todos los elementos de imagen que tiene la línea.

2. Al final de cada línea, el haz regresa rápidamente al extremo izquierdo para comenzar el barrido de la siguiente línea horizontal. El tiempo de regreso se llama tiempo de retorno o flyback. No se barre la información de imagen durante el retorno porque tanto el tubo de cámara como el tubo de imagen están "en blanco", es decir "sin información", durante ese periodo. Así, los retornos deben ser muy rápidos porque son tiempos muertos en términos de transmisión de información de imagen.

3. Cuando el haz regresa al extremo izquierdo, su posición vertical baja para que el haz no repita el barrido de la misma línea. Como resultado de este barrido vertical, todas las líneas horizontales se inclinan un poco de arriba abajo. Cuando el haz se encuentra abajo el retorno vertical regresa el haz a la parte superior para comenzar la secuencia de barrido de nuevo. Todo este proceso es muy rápido de modo que el ojo humano no lo percibe, sólo ve la imagen completa.

### 1.2.3. Líneas por cuadro

El número de líneas barridas para una imagen completa debe ser grande, con la finalidad de incluir el mayor número de elementos de imagen. Sin embargo, otros factores limitan esta cantidad. El estándar es 525 líneas barridas por una imagen o cuadro completo. Éste es el número óptimo para el ancho de banda estándar de 6 MHz de los canales de emisión de televisión.

### 1.2.4. Cuadros por segundo

Como se mencionó, el haz se mueve en forma lenta hacia abajo mientras realiza el barrido horizontal. Este movimiento vertical del barrido es necesario para no barrer las líneas una encima de otra. El barrido horizontal produce líneas de izquierda a derecha, mientras que el vertical distribuye las líneas para completar el cuadro de arriba abajo.

El tiempo para formar un cuadro completo (525 líneas barridas) es 1/30 de segundo. De este modo la "tasa" de repetición de la imagen es 30 cuadros por segundo.

### 1.2.5. Información de la señal de video

En una señal de video, la amplitud del voltaje o de la corriente cambia respecto al tiempo. Estas variaciones de la señal corresponden a información visual.

Un ejemplo de una señal de video se muestra en la figura 1.2.4. Imagine que la señal es el resultado del barrido mostrado en la figura 1.2.3 para la imagen de la figura 1.2.2.

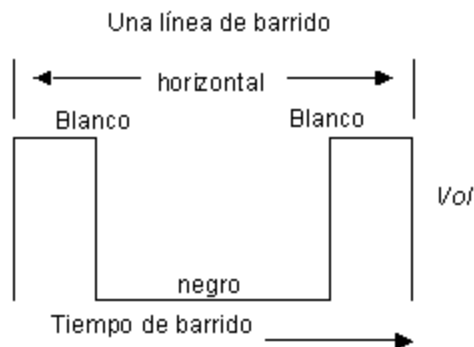


Figura 1.2.4. Información de la señal de video para el barrido de una línea horizontal.

La señal de video muestra la información de claro y oscuro para una línea de barrido horizontal en el centro de la cruz. En el lado izquierdo la información es blanca. Después, la información es oscura un tiempo mayor en el centro. Por último, la información se vuelve blanca de nuevo al final de la línea en el lado derecho. De esta forma se produce una señal de video para las líneas de barrido horizontales en toda la imagen.

La figura 1.2.4 muestra la señal de video con polaridad positiva para lo blanco, y negativa para lo oscuro. Sin embargo, estas polaridades pueden invertirse.

Como ya se dijo, un cuadro se forma de 525 líneas, las cuales se exploran en 1/30 de segundo. Por tanto, los cuadros se repiten a una tasa de 30 Hz. (Obsérvese que 30 Hz es la mitad de la frecuencia de la línea de alimentación de CA de 60 Hz).

La mayoría de los receptores de televisión operan con una fuente de poder de 120 volts a 60 Hz. Dichos televisores convierten la corriente alterna en directa mediante una fuente de media onda o de onda completa. La frecuencia de rizo de estas fuentes puede ser 60 Hz ó 120 Hz. Estas frecuencias se relacionan armónicamente con la tasa de cuadros de 30 Hz. Entonces cualquier rizo causado por un ligero decremento en el funcionamiento del filtro no causará distorsiones excesivas en la imagen.

Las amplitudes de la señal de video puede tener “blanco-alto” para polaridad positiva, y “negro-abajo” para polaridad negativa, o con polaridades opuestas, según la aplicación.

La señal de video se produce en un tubo de cámara. El término *tubo de cámara* se refiere al dispositivo transductor que convierte luz en señales eléctricas. Los tubos de cámara antiguos eran dispositivos de bulbos; en la actualidad los dispositivos de captación, como se mencionó, son elementos de estado sólido conocidos como dispositivos de acoplamiento de cargas, (CCD, charge-coupled device).

Un dispositivo de captación (pickup) convierte la información de imagen en forma de variaciones de luz, en variaciones eléctricas en la señal de video. El tubo de cámara incluye una placa de imagen fotoeléctrica para la conversión de luz. También, el haz de electrones se mueve sobre la placa de la imagen para barrer todos los elementos de la imagen. (De hecho, la forma de onda mostrada en la figura 1.2.4 es de una señal de cámara).

Para el efecto contrario, un tubo de imagen puede reconstruir la imagen en su pantalla fluorescente. La señal de video hace variar la intensidad del haz de acuerdo con la información de la imagen. La corriente máxima del haz produce blanco. El negro corresponde a una corriente de haz nula. Esto se ve como negro, comparado con las partes blancas de la pantalla. También, el yugo de deflexión alrededor del cuello del tubo proporciona el barrido para llenar la pantalla con la imagen completa.

La señal de video es el medio por el cual se transmite la información de imagen de un lugar a otro. El principal requisito es obtener la información de la imagen de la salida de la cámara a la entrada del tubo de imagen. Los métodos comunes utilizados son:

## Capítulo 1. Televisión Analógica

- ✓ televisión de circuito cerrado
- ✓ grabación de video, en cinta magnética o disco láser
- ✓ difusión de televisión
- ✓ televisión por cable
- ✓ televisión vía satélite
- ✓ video convertido o almacenado en formato digital

La televisión de circuito cerrado utiliza video de banda base. Otros métodos tienen una portadora de RF y/o una señal de salida de audio y video compuesta. Las señales digitales pueden procesarse por computadora y enviarse por módem a través de líneas telefónicas.

### 1.2.6. Imágenes en movimiento

Como la difusión de televisión emplea el barrido, es comprensible que se necesite presentar la imagen al ojo humano de manera que cualquier movimiento en la escena aparezca en la pantalla como un cambio suave y continuo. En este aspecto, un sistema de televisión es muy similar a la cinematografía.

La figura 1.2.5 muestra una fracción de película cinematográfica.



*Figura 1.2.5. Cuadros de imagen de una tira de película cinematográfica.*

Cada imagen fija difiere ligeramente de la anterior. Cada cuadro se proyecta de modo individual como una imagen fija. Sin embargo, como los cuadros aparecen uno tras otro en una sucesión rápida, el espectador tiene la ilusión de movimiento continuo.

Persistencia de visión. La impresión hecha por cualquier luz que ve el ojo persiste durante una pequeña fracción de segundo después de que desaparece esa luz. Por lo tanto, si se ven muchas imágenes durante ese intervalo de persistencia, la visión las integrará y se

tendrá la impresión de ver todas las imágenes al mismo tiempo. Este efecto de persistencia visual es el que permite que se televise un elemento básico de la imagen a la vez. Cuando los elementos se barren con suficiente rapidez, aparecen a simple vista como una imagen completa.

Para crear la ilusión de movimiento, deben mostrarse suficientes imágenes completas durante cada segundo. Este efecto se puede producir si se tiene una tasa de repetición de imágenes mayor a 16 por segundo.

### 1.2.7. Frecuencias de cuadros y de campos

En la televisión no sólo se divide cada imagen en sus muchos elementos individuales de imagen, también la escena se barre con suficiente rapidez para proveer suficientes imágenes o cuadros completos por segundo, para dar la ilusión de movimiento. Los sistemas de televisión emplean una velocidad de repetición de 30 cuadros por segundo. Esta tasa de repetición proporciona la continuidad de movimiento requerida, pero aún no es tan rápida como para eliminar el "parpadeo" en los niveles de luz producidos por la pantalla del tubo de imagen.

De nuevo, la solución es similar a la empleada en el cine. En la TV, cada cuadro se divide en dos partes, para que se presenten 60 vistas de la escena por segundo.

No obstante, la división de un cuadro en dos partes no puede lograrse simplemente con un obturador, como en el cine, porque la imagen reproduce un elemento a la vez. En su lugar, se obtiene el mismo efecto entrelazando las líneas de barrido horizontales en dos grupos, uno con las líneas impares y otro con las pares. Cada grupo de líneas pares o impares se denomina campo.

La tasa de repetición de los campos es 60 por segundo, porque se barren dos campos durante un periodo de cuadro de  $1/30$  de segundo. De esta manera, se muestran 60 vistas de la imagen durante un segundo. Esta tasa de repetición es suficientemente rápida para eliminar el parpadeo.

Se elige la tasa de repetición de 30 cuadros para la televisión, porque el suministro de energía eléctrica en las casas de Estados Unidos, es una CA de 60 Hz. Cuando la velocidad de los cuadros es de 30 por segundo, la tasa de los campos es igual a la frecuencia de la línea de energía eléctrica de 60 Hz. En los países donde la frecuencia en la línea de alimentación es 50 Hz, la velocidad de cuadro es de 25 Hz, lo que origina una frecuencia de campo de 50 Hz.

### 1.2.8. Frecuencias de barrido horizontal y vertical

La velocidad de los campos de 60 Hz es la frecuencia de barrido vertical. Esta es la rapidez a la que el haz de electrones completa sus ciclos de movimiento vertical, de arriba abajo, y luego de regreso hacia arriba. De este modo, los circuitos de deflexión vertical para el dispositivo de captación de cámara o para el tubo de imagen, operan a 60 Hz. El tiempo de cada ciclo de barrido vertical para un campo es  $1/60$  de segundo.

El número de líneas de barrido horizontales en un campo es la mitad del total de 525 líneas para un cuadro completo, pues un campo contiene líneas alternadas. Esto da  $262 \frac{1}{2}$  líneas horizontales para cada campo vertical.

Como el tiempo para un campo es  $1/60$  de segundo y como un campo tiene  $262 \frac{1}{2}$  líneas, el número de líneas por segundo es  $262 \frac{1}{2} \times 60 = 15750$

Esta frecuencia de 15.750 kHz es la velocidad a la que el haz de electrones completa sus ciclos de movimiento horizontal, de izquierda a derecha, y de regreso a la izquierda. Por lo tanto, los circuitos de deflexión horizontal para el tubo de cámara o el tubo de imagen operan a 15.750 kHz.

## Capítulo 1. Televisión Analógica

Entrelazar dos campos significa barrerlos en orden sucesivo, como se muestra en la figura 1.2.6. El trazo empieza en la esquina superior izquierda, con la línea uno, como se muestra en la figura 1.2.6.a). Cuando el haz llega al extremo derecho del tubo, visto desde el frente, el voltaje de la señal apaga al haz y se realiza el regreso al lado izquierdo. Este rápido regreso se llama tiempo de retorno (flyback time).

Observe que al mismo tiempo que el haz se mueve en sentido horizontal, también lo hace en el vertical, de arriba abajo. Esta situación causa una ligera inclinación de las líneas. Cuando el haz llega al lado izquierdo, la señal activa el trazo de nuevo para escribir la información de la señal de video de la línea 3. Este proceso continúa para todas las líneas impares, incluida media línea al final de la pantalla, un total de  $262 \frac{1}{2}$  líneas para el campo impar. El voltaje de la señal interrumpe el haz de nuevo mientras el retorno vertical lleva al haz de regreso a la parte superior de la pantalla. En este punto, el voltaje de la señal vuelve a activar el haz y comienza el trazo con media línea en la parte superior de la pantalla.

Luego se barre la línea 2 a la mitad entre las líneas 1 y 3; este efecto se muestra en la figura 1.2.6.b). De nuevo, el haz está inactivo durante el retorno. El proceso continúa con todas las líneas pares barridas; un total de  $262 \frac{1}{2}$  líneas para el campo par.

Estos dos campos, impar y par, forman un cuadro. Éste es una imagen completa de 525 líneas. El proceso se denomina *barrido entrelazado horizontal*.

Aunque el entrelazado puede parecer un proceso complejo, en la realidad se hace de manera automática con las dos características siguientes:

- La frecuencia de barrido vertical se duplica, de la frecuencia de cuadro de 30 Hz, a la frecuencia de campo de 60 Hz.
- El número de líneas de barrido horizontal por cuadro se queda en 525.

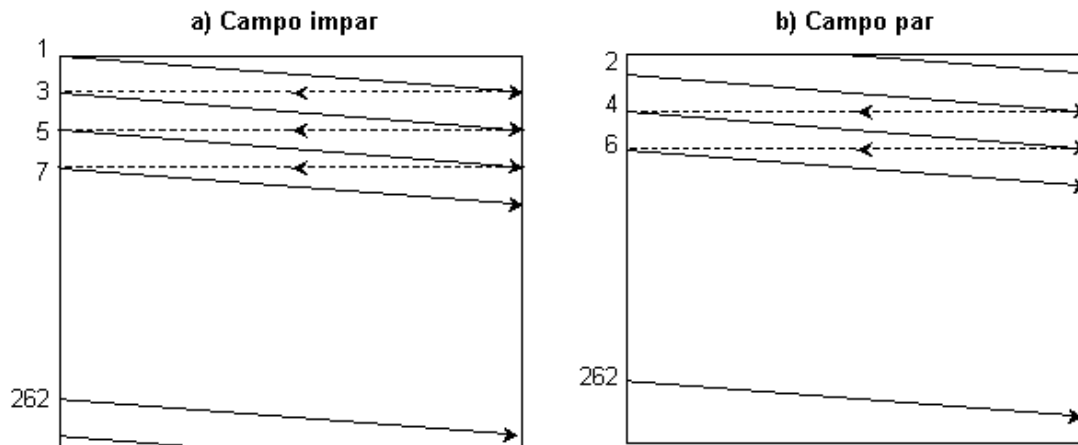


Figura 1.2.6 Cómo se barren los dos campos, a) Campo impar,  $262 \frac{1}{2}$  líneas, b) Campo par,  $262 \frac{1}{2}$  líneas.

El entrelazado necesita un número impar de líneas para un número par de campos.

En los monitores de computadoras, el barrido casi siempre se realiza sin entrelazado. Las líneas se barren en orden progresivo y, por lo tanto, este método se conoce como *barrido progresivo*.

Tiempo de línea horizontal. El tiempo (H) para cada línea de barrido horizontal es  $1/15750$  segundos. En microsegundos:

$$\text{Tiempo } H = \frac{1000000}{15750} \mu s = 63.5 \mu s$$

El tiempo en microsegundos indica que la señal de video para los elementos de imagen dentro de una línea horizontal puede tener altas frecuencias, del orden de megahertz. Si hubiera más líneas, el tiempo de barrido sería menos y se obtendrían frecuencias de video mayores. En realidad en el sistema de 525 líneas, la mayor frecuencia de video está limitada a cerca de 4.2 Mhz, debido a la restricción de 6 Mhz para los canales de televisión comercial.

### 1.2.9. Sincronización horizontal y vertical

El tiempo utilizado para realizar el barrido corresponde a la distancia en la imagen. A medida que el haz de electrones en el tubo de cámara barre la imagen, el haz cubre diferentes elementos y envía la información de imagen correspondiente. Por lo tanto, cuando el haz de electrones barre la pantalla del tubo de imagen en el receptor, el barrido debe estar exactamente sincronizado para poder ensamblar la información de imagen en la posición correcta. (De otra manera, el haz de electrones en el tubo de imagen podría estar barriendo la parte de la pantalla que corresponde a la boca de una persona, mientras la información recibida en ese instante corresponde a su nariz.) Para mantener al transmisor y receptor en barrido escalonado, deben transmitirse señales de sincronía especiales con la información de imagen para el receptor. Estas señales de tiempo son pulsos rectangulares utilizados para controlar el barrido tanto en la cámara como en el receptor.

Los pulsos de sincronización se transmiten como parte de la señal de imagen completa para el receptor, pero ocurren durante el tiempo de borrado cuando no se transmite información de imagen. La imagen se borra durante este lapso mientras el haz de electrones retorna.

Un pulso de sincronización horizontal al final de cada línea determina el inicio del retorno horizontal. De manera importante, la sincronización se da al principio del retorno o al final del trazo, no al inicio del trazo. El retorno horizontal del haz de electrones de barrido comienza en el lado derecho de la imagen.

La sincronización vertical al final de cada campo determina el inicio del retorno vertical. En este punto, el haz de electrones que realiza el barrido está en la parte inferior de la imagen.

Sin la sincronización de campo vertical, la imagen reproducida en el receptor no se mantiene fija en el sentido vertical, se mueve arriba o abajo en la pantalla del tubo de imagen. Si las líneas de barrido no se sincronizan, la imagen no se detiene en el sentido horizontal, se desliza a la izquierda o a la derecha, y después se separa en segmentos diagonales.

En resumen, la frecuencia de exploración horizontal lineal es 15.750 kHz y la de los pulsos de sincronía horizontal también es 15.750 kHz. La velocidad de repetición de los cuadros es 30 por segundo, pero la frecuencia de barrido vertical de campos es 60 Hz. La frecuencia de los pulsos de sincronización vertical también es 60 Hz.

Las frecuencias de barrido de 15.750 Hz y 60 Hz son exactas para la televisión monocromática, pero sólo aproximadas para la televisión de color. En la difusión de color, la frecuencia de barrido horizontal de líneas es exactamente 15 734.26 Hz, y la frecuencia de barrido vertical de campos es de 59.94 Hz. Estas frecuencias de barrido exactas se usan para minimizar la interferencia entre la señal subportadora de color a 3.579545 MHz y la señal de luminancia (monocromática).

Sin embargo, las frecuencias de barrido horizontal y vertical pueden considerarse, en general, de 15.750 kHz y 60 Hz, porque los circuitos de deflexión se sincronizan en forma automática en la frecuencia de barrido requerida tanto para la emisión monocromática como para la de color.

En la actualidad, toda la difusión televisiva se realiza según las normas de la TV de color, porque prácticamente todas las imágenes son de color. La frecuencia de la subportadora de color se indica como 3.58 MHz, aproximadamente.

### 1.2.10. Borrado horizontal y vertical

En televisión el término *borrado* (blanking) significa “pasar a negro”, es decir, ennegrecer la pantalla. Como parte de la señal de video, el voltaje de borrado se encuentra en el nivel de negro. El voltaje de video en el nivel de negro corta la corriente del haz en el tubo de imagen para eliminar la luz de la pantalla. El propósito de los pulsos de borrado es hacer invisibles los regresos requeridos para el barrido. Los pulsos horizontales a 15.750 kHz borran el retorno de derecha a izquierda en cada línea del haz. Los pulsos verticales a 60 Hz borran el retorno de abajo arriba de cada campo.

El tiempo necesario para el borrado horizontal es aproximadamente 16 por ciento del tiempo de cada línea horizontal (H). El tiempo horizontal total es 63.5  $\mu$ s, que incluye el trazo y el retorno. El tiempo de borrado para cada línea entonces es igual a  $63.5 \times 0.16 = 10.2 \mu$ s.

Este tiempo de borrado horizontal significa que el retorno de derecha a izquierda debe hacerse en 10.2  $\mu$ s antes del inicio de la información de la imagen visible, durante el barrido de izquierda a derecha.

El tiempo para el borrado vertical se aproxima al 8 por ciento del tiempo de cada campo vertical (V). El tiempo total vertical es 1/60 de segundo, que incluye el trazo hacia abajo y el retorno hacia arriba. Entonces el tiempo de borrado de cada campo es  $1/60 \times 0.08 = 0.0013$  s (1.3 ms), el retorno vertical debe completarse de abajo arriba de la imagen.

El retorno ocurre durante el tiempo de borrado debido a la sincronización del barrido. Los pulsos de sincronización determinan el inicio de los retornos. Cada pulso de sincronización horizontal se introduce en la señal de video dentro del tiempo del pulso de borrado horizontal. También, cada pulso de sincronización vertical se introduce en la señal de video dentro del tiempo del pulso de borrado vertical.

En resumen, primero un pulso de borrado lleva la señal de video al nivel de negro; luego una señal de sincronización inicia el retorno en el barrido. Esta secuencia se aplica al retorno tanto horizontal como vertical.

### 1.3. Televisión cromática (a color)

Cuando los estándares de televisión a color fueron diseñados, los ingenieros de esa época se enfrentaron a tres retos principales. Primero, cómo lograr la compatibilidad en las transmisiones de la televisión cromática y la monocromática, cómo ocupar los mismos 6 MHz de ancho de banda de la señal a color con la de Blanco y Negro, y cómo lograr que la señal de televisión fuera recibida sin importar su naturaleza cromática.

La señal de televisión a color, en su forma más simple, pudo haberse logrado con cámaras de tres filtros (rojo, verde y azul) y transmitida su onda por el aire hacia los receptores, sin embargo esta forma idealizada no era factible ya que no se ocupaban los 6 MHz de ancho de banda, y de lograrse no hubieran sido compatibles los receptores monocromáticos y los cromáticos.

A continuación veremos parte de los principios básicos de la televisión a color que se basan en la norma NTSC, y que usan varios países del mundo incluido México.



### 1.3.1. Transmisor de TV a color

En esencia, un transmisor de televisión a color es idéntico al transmisor en blanco y negro, con la excepción de que se usa una cámara de color para producir la señal de video.

En la transmisión a color, todos los colores son producidos con la mezcla en diferentes proporciones de los colores primarios: rojo, azul y verde, todos los colores pueden ser producidos mediante la suma de las cantidades apropiadas de estos tres colores.

Una cámara a color es en realidad tres cámaras en una, cada una con señales de salida de video separadas. Así, cuando una imagen es escaneada, se usan tubos de cámara separados para cada color primario. La cámara roja, produce la señal de video **R**, la cámara verde produce la señal de video **G**, y la cámara azul, produce la señal de video **B**. Después estas señales son combinadas en un codificador para producir la señal de color compuesta, la cual al ser combinada con la señal de luminiscencia, modula en amplitud la portadora de radiofrecuencia.

En la figura 1.3.1 se muestra una configuración de espejos que puede ser usada para dividir la imagen en los tres colores primarios.

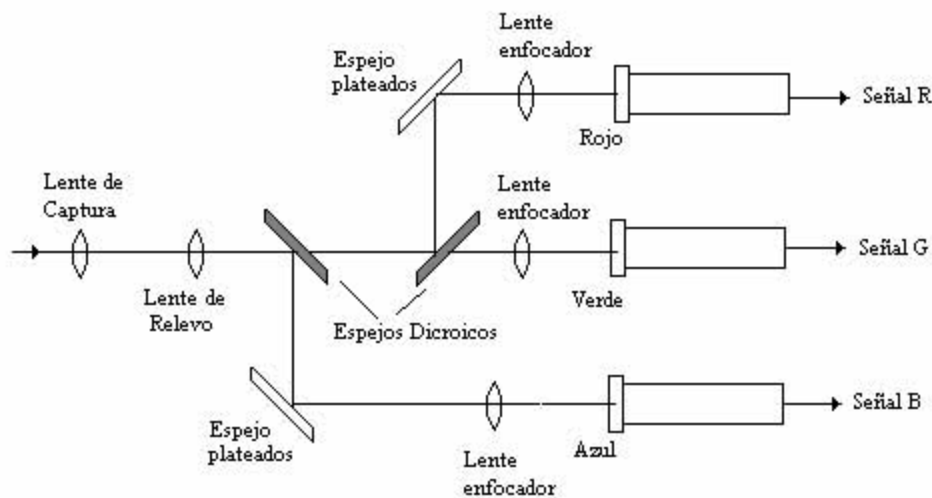


Figura 1.3.1. Configuración de espejos para separar la imagen en sus tres colores primarios.

Aquí, los lentes dicroicos son lentes que están diseñados para reflejar luz de una cierta banda de longitud de onda únicamente y permite a todas las demás frecuencias pasar a través de ellos. Así, una vez que la luz entra por el lente de captura y llega al primer espejo dicroico, éste refleja la luz azul, mientras que deja pasar la luz verde y la roja, después estas últimas llegan al segundo espejo dicroico, el cual se encuentra a un ángulo de 45° opuesto al primero, y éste refleja la luz roja y deja pasar únicamente la verde. De esta manera, se tienen las tres señales **R**, **G** y **B**, las cuales son usadas después en un proceso de codificación para producir la señal de color compuesta. En la figura 1.3.2 se muestra un diagrama a bloques de esta parte de codificación de la señal:

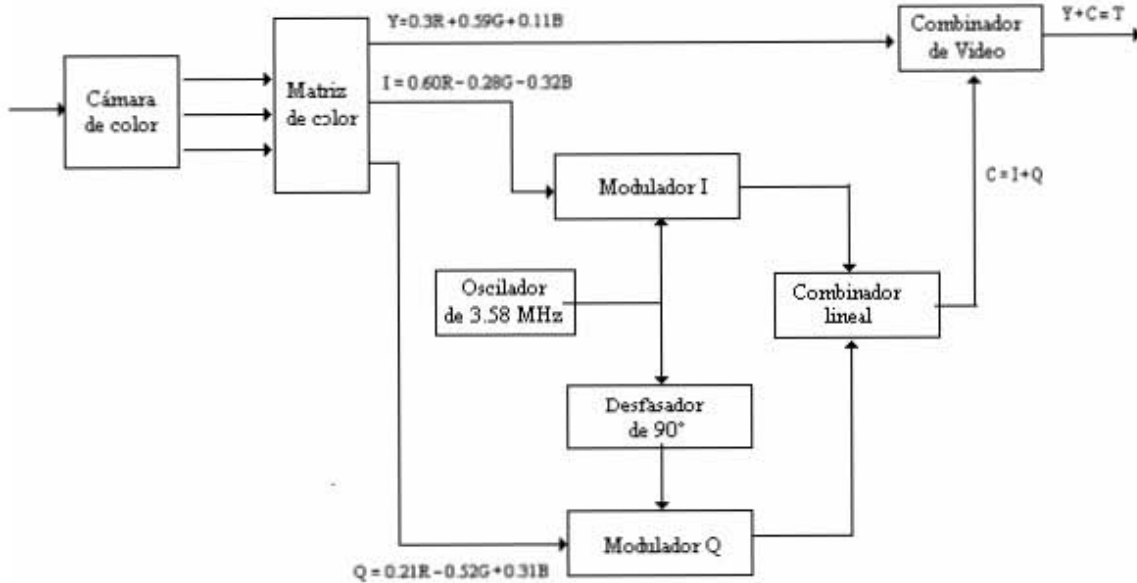


Figura 1.3.2. Proceso de codificación y formación de la señal de video compuesta.

El objetivo del diagrama en la figura 1.3.2 es el obtener dos señales a partir de una combinación de las señales **R**, **G** y **B**, una es la de luminancia, la cual toma el lugar de la señal monocromática original y corresponde al brillo de la señal, y otra llamada señal de crominancia, la cual porta la información del color. Como se puede observar en esa figura, las señales **R**, **G** y **B** que salen de la cámara de color son combinadas en proporciones específicas en una matriz de color para producir la señal de luminancia **Y** (brillo) y las señales de video de crominancia **Q** (cuadratura) e **I** (intermodulación).

La señal de luminancia es formada a partir una combinación del 30 por ciento de la señal de video **R**, 59 por ciento de la señal **G**, y 11 por ciento de la señal **B**.

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (1.3.1.1)$$

Estos porcentajes corresponden al brillo relativo de los tres colores primarios, de esta manera la escena reproducida en blanco y negro tiene el mismo brillo que la imagen original. La señal **Y** es transmitida con un ancho de banda de 0 a 4 MHz, sin embargo la mayoría de los receptores la limitan a 3.2 MHz para minimizar interferencia con la señal de color de 3.58 MHz.

La señal **I** o señal de color en fase es producida combinando 60 por ciento de la señal **R**, 28 por ciento de la señal **G** y 32 por ciento de la señal invertida de video **B**.

$$I = 0.60R + 0.28G - 0.32B \quad (1.3.1.2)$$

La señal **Q** o la señal en cuadratura de color se produce combinando 21 por ciento de la señal **R**, 52 por ciento de la señal invertida de video **G** y 31 por ciento de la señal **B**.

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \quad (1.3.1.3)$$

Las dos señales anteriores **I** y **Q**, modulan en amplitud a una subportadora de 3.58 MHz para producir la señal de color total **C**. La señal **I** modula directamente a esta subportadora de 3.58 MHz, mientras que la señal **Q** modula a la subportadora en cuadratura (90° fuera de fase).

## Capítulo 1. Televisión Analógica

La señal **I** es transmitida con un ancho de banda de 1.5 MHz, mientras que la señal **Q** es transmitida con un ancho de banda de 0.5 MHz. Sin embargo, la mayoría de los receptores limitan a ambas señales a 0.5 MHz.

Después, ambas señales moduladas **Q** e **I** se combinan linealmente para producir una señal de modulación de amplitud por cuadratura, **C**, la cual es una combinación de modulación de amplitud y fase (como están en cuadratura, la señal **C** es una suma fasorial de las dos).

$$C = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad \text{en magnitud}$$
$$\phi = \tan^{-1} Q/I \quad \text{en fase}$$

Posteriormente, la señal **C** se combina ahora con la señal de luminancia **Y** para producir la señal total de video compuesta, ver figura 1.3.5.

La relación de fase entre las señales **Q** e **I**, con la subportadora de 3.58 MHz corresponde al matiz instantáneo de color capturado por la cámara, la amplitud corresponde a la saturación (pureza) de la señal original.

Para que un receptor de TV pueda recuperar la información de color a partir de estas variaciones de fase y amplitud se necesita una señal de fase constante de 3.58 MHz, por lo tanto, se introduce una pequeña muestra de esta señal (de 8 a 10 ciclos) en la señal de video, y a lo cual se le conoce como “color burst” o “ráfaga de color”, ésta se encuentra en el *back porch* de la señal de video como se muestra en la figura 1.3.3.

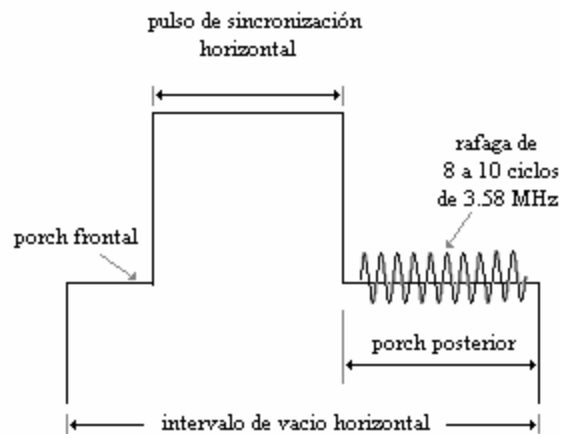
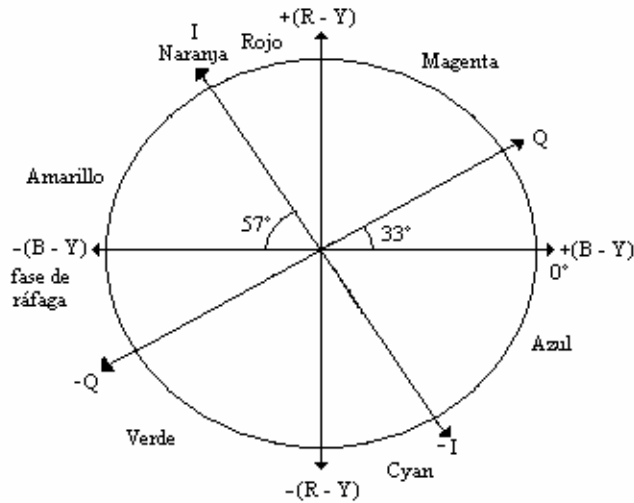


Figura 1.3.3. Pulso de borrado horizontal junto con la ráfaga de 3.58 MHz.

Por lo tanto, como se puede observar en la figura 1.3.3, la subportadora de color debe ser transmitida junto con la señal de video compuesta de manera que el receptor pueda reconstruir la subportadora con la apropiada frecuencia y fase. Por lo cual se extrae esta ráfaga y se usa para sincronizar un oscilador local de 3.58 MHz para determinar el color de la señal recibida.

En la figura 1.3.4 se muestra la rueda de colores para las transmisiones de televisión, aquí se tiene el color que se va a mostrar de acuerdo con la fase de la señal de crominancia respecto de la subportadora de 3.58 MHz.



a)

Color	Fase respecto a 0 grados	Fase respecto a la ráfaga (grados)
Ráfaga	180	0
Amarillo	167	13
Rojo	103	77
Magenta	61	119
Azul	347	193
Cyan	283	257
Verde	241	299

b)

Figura 1.3.4. a) rueda de color estándar de la transmisión de televisión, b) tabla donde se muestran los ángulos de fase respectivos a cada color.

Las señales R-Y y B-Y se usan en la mayoría de los televisores para demodular las señales de video **R**, **G** y **B**, como se verá en el punto 1.3.2.

Por ultimo, cuando la señal de video de televisión a color es transmitida, ésta presenta el espectro de frecuencias que se muestra en la figura 1.3.5.

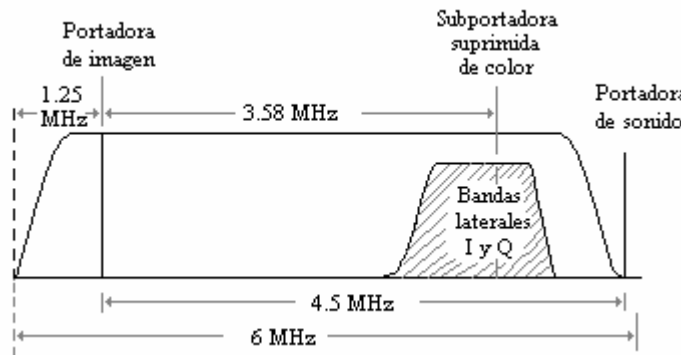


Figura 1.3.5. Espectro de la señal de video compuesta para la radiodifusión de televisión a color.

De hecho, el espectro de la señal de video es el mismo que para la transmisión en Blanco y Negro, únicamente se incluye la información de color dentro de los mismos 6 MHz, factor que era importante cuando se buscaba la compatibilidad entre la televisión a color y la televisión en Blanco y Negro. [31]

### 1.3.2. Receptor de TV a color

Un receptor de televisión a color es esencialmente el mismo que el receptor Blanco y Negro, excepto por el tubo de imagen y la adición de los circuitos para la decodificación del color.

Empezando en la antena receptora, la señal portadora de la imagen es amplificada en las etapas de radiofrecuencia y de frecuencia intermedia. Después, esta señal de imagen de AM es rectificadora en el detector de video. La salida del detector de video es la señal total de video multiplexada, por lo tanto incluye a las componentes de **Y** y **C**. Después del detector de video y luego de los amplificadores de video, los circuitos dividen la señal en dos caminos. Un camino para la señal de luminancia **Y**, y otro para la señal **C**. Esto se puede ver en el siguiente diagrama de bloques:

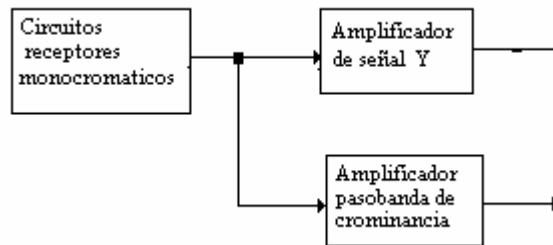


Figura 1.3.6. Diagrama a bloques en tres etapas de un receptor de televisión a color.

La señal **C** es enviada hacia un amplificador pasobanda de crominancia, el cual está sintonizado para la subportadora de 3.58 MHz y con una banda de paso de 0.5 MHz. Por lo tanto, la única señal **C** es amplificada y pasada a unos demoduladores de B-Y y de R-Y. Esta parte de tratamiento de la señal de color se puede observar en la figura 1.3.7.

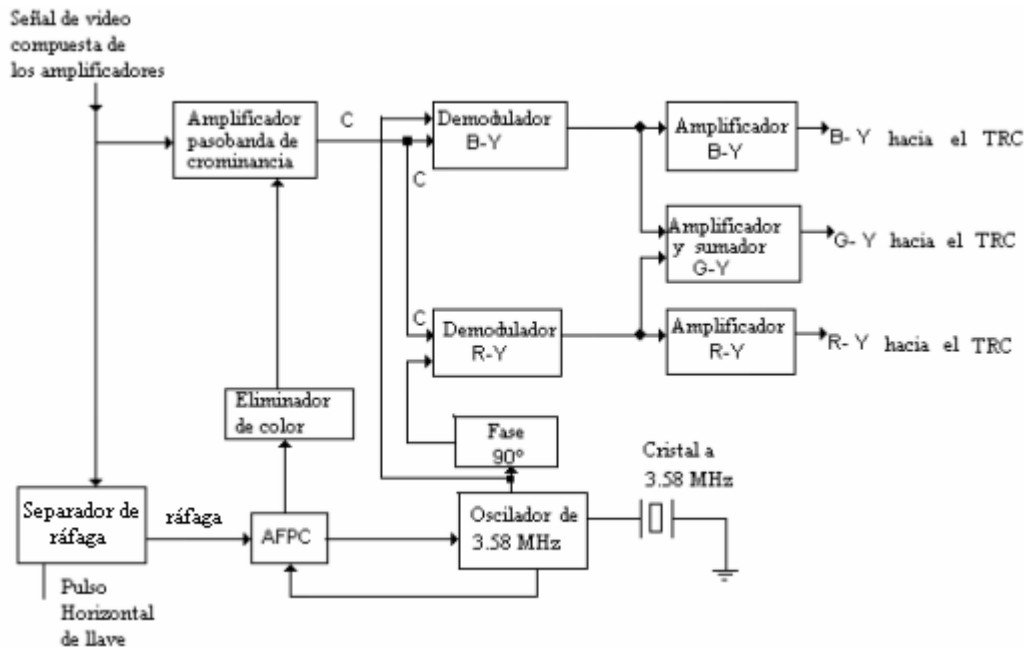


Figura 1.3.7. Circuitos demoduladores de color.

## Capítulo 1. Televisión Analógica

Otra parte es enviada hacia un separador de ráfaga. Esta ráfaga de color de 3.58 MHz es separada del pulso de borrado horizontal sólo durante el tiempo de retraso. Después, una subportadora de color de 3.58 MHz es reproducida en el circuito de color AFC, el cual consiste de oscilador de color de 3.58 MHz y un circuito de color AFPC (Automatic Frequency and Phase Control). Este circuito AFC hace necesario aumentar la inmunidad al ruido. El eliminador de color apaga el amplificador pasobanda de crominancia durante la recepción monocromática.

La señal **C** es demodulada en los demoduladores B-Y y R-Y mezclándola con la subportadora de fase coherente de 3.58 MHz. Las señales B-Y y R-Y producen la señal de video **R** y **B** combinándose con la señal **Y** de la siguiente manera:

$$B - Y + Y = B$$

$$R - Y + Y = R$$

Mientras que la señal de video **G** es producida por la combinación de las señales B-Y y R-Y en proporciones adecuadas. [31]

### 1.4. Estándares de televisión analógica

A principios de los años 50 se formó una comisión –el National Television System Committee– para tratar de resolver el problema de la compatibilidad de los diferentes sistemas de televisión a color que existían en esa época. El diseño del estándar NTSC resultante fue autorizado por la FCC (Federal Communications Commission) en 1953 y es el que se usa aún en Estados Unidos y que está a punto de ser sustituido por el estándar de televisión digital ATSC (Advanced Television System Committee). En lugar de transmitir en secuencia las señales **R**, **G** y **B**, el sistema NTSC separa la información de señales de luminancia y de crominancia que se transmiten en forma simultánea usando multiplexión en frecuencia. La mayoría de las ideas básicas de este sistema, con algunos refinamientos, se han incorporado a otros sistemas de televisión en color usados en otros países. [31]

El sistema NTSC está concebido para ser compatible con el monocromático basándose en 525 líneas y 60 campos por segundo con barrido entrelazado. Un componente de luminancia **Y** se forma por la suma de los tres colores primarios, R, G, B. Las señales de color resultantes se cuantifican en la misma proporción que la respuesta del ojo humano a las frecuencias de los colores primarios, de tal manera que toda la información necesaria para una imagen monocromática está contenida en esta señal de luminancia (ecuación 1.3.1.1).

Además de esta señal, se transmiten dos señales de diferencia de color. Estas diferencias de color se forman restando la luminancia. Como el componente (G-Y) es menor que los otros dos (y por ello está sujeto a mayores errores debidos al ruido), los componentes que se envían son (R-Y) y (B-Y). Estas señales de diferencias de color se transmiten usando multiplexión en cuadratura (DSB-SC) en una subportadora situada  $\omega_s$  rad/s por encima de la portadora de imagen. La señal de crominancia (diferencia de color) puede escribirse como

$$(R-Y) \cos \omega_s t + (B-Y) \sin \omega_s t \quad (1.4.1)$$

La suma de las ecuaciones 1.4.1 y 1.4.2 forma la señal total de video, que se modula en la portadora de imagen usando técnicas de banda lateral residual.

En el receptor, pueden detectarse las señales siguientes:

$$\begin{Bmatrix} R - Y \\ B - Y \\ Y \end{Bmatrix} \quad (1.4.2)$$

La ecuación 1.3.1.1 puede describirse como

$$(G - Y) = -\frac{0.30}{0.59}(R - Y) - \frac{0.11}{0.59}(B - Y) \quad (1.4.3)$$

Por lo tanto la tercera señal de diferencia de color (G-Y) puede hallarse por medio de una adecuada ponderación y suma (como en las operaciones con matrices). Las señales Y, (G-Y), (R-Y) y (B-Y) pueden aplicarse a las rejillas de control apropiadas del tubo de imagen. Tómense ahora los valores de las componentes (R-Y), (B-Y) e Y para seis colores saturados cuyos valores aparecen en la tabla 1.4.1.

Tabla 1.4.1. Adición de componentes de luminancia y crominancia para seis colores saturados.

Color	R	G	B	Componente s Y	(R-Y)	(B-Y)	Magnitud/fase e (ec. 1.4.4)	Magnitud Máxima total
Azul	0	0	1	0.11	-0.11	0.89	0.90 /353°	1.01
Rojo	1	0	0	0.30	0.70	-0.30	0.76 /113°	1.06
Magenta	1	0	1	0.41	0.59	0.59	0.83 /45°	1.24
Verde	0	1	0	0.59	-0.59	-0.59	0.83 /225°	1.42
Cyan	0	1	1	0.70	-0.70	0.30	0.76 /293°	1.46
Amarillo	1	1	0	0.89	0.11	-0.89	0.90 /173°	1.78

Las dos diferencias se transmiten en cuadratura a la frecuencia subportadora de color  $\omega_s$ , y pueden usarse relaciones fasoriales. Expresando las diferencias de color en términos de magnitud y fase, se tiene

$$\sqrt{(R - Y)^2 + (B - Y)^2} \tan^{-1} [(R - Y)/(B - Y)] \quad (1.4.4)$$

Nótese que en la ecuación 1.4.4 la magnitud es una medida de la saturación del color y la fase es una medida del matiz. La amplitud instantánea máxima total es proporcional a la suma del componente de luminancia, Y, con la magnitud de la ecuación 1.4.4. Esta cantidad aparece en la última columna de la tabla 1.4.1.

Para una transmisión monocromática, se tiene  $R = B = G$ , y  $Y = 1.0$ . Sin embargo, la última columna muestra que la transmisión de un color totalmente saturado requiere picos instantáneos mayores, hasta en un 78 por ciento, que los requeridos para la monocromática. Como el nivel pico de modulación ya es de 70 por ciento en la monocromática, ésta es una sobrecarga demasiado grande en el transmisor, por lo que es necesario reducir la amplitud de las señales de diferencia de color. Puesto que hay dos de estas señales, pueden introducirse

dos constantes de escala,  $a_1$  y  $a_2$ , para reducir la modulación pico. Para transmisiones monocromáticas,  $Y = 1.0$  y el índice de modulación máximo es de 70 por ciento. Se considera que 33 por ciento (es decir, un índice de modulación de 93 por ciento) es una sobrecarga pico razonable debida a diferencias de color. Por tanto, para el máximo nivel pico de modulación puede escribirse:

$$Y + \sqrt{a_1^2(R - Y)^2 + a_2^2(R - Y)^2} = 1.33 \quad (1.4.5)$$

En la tabla 1.4.1 puede verse que los dos colores saturados con mayores posibles sobrecargas son el amarillo y el cyan. Sustituyendo los valores para estos colores sucesivamente en la ecuación 1.4.6, se obtienen dos ecuaciones en las constantes de escala desconocidas  $a_1$  y  $a_2$ :

$$0.89 + \sqrt{a_1^2(0.11)^2 + a_2^2(0.89)^2} = 1.33 \quad (1.4.6)$$

$$0.70 + \sqrt{a_1^2(0.70)^2 + a_2^2(0.30)^2} = 1.33 \quad (1.4.7)$$

La solución simultánea de estas ecuaciones da  $a_1 = 0.877$  y  $a_2 = 0.493$ . Entonces, la señal total de video, incluyendo la señal de crominancia corregida, que se usa para modular la amplitud de la portadora transmitida es

$$\text{Señal total} = Y + 0.877(R - Y)\cos \omega_s t + 0.493(B - Y)\text{sen } \omega_s t \quad (1.4.9)$$

Los valores de la crominancia corregida aparecen en la tabla 1.4.2. Estos resultados también se pueden mostrar construyendo un diagrama fasorial de las relaciones de fase a la frecuencia de la subportadora de color  $\omega_s$ , como se muestra en la figura 1.3.4.

Tabla 1.4.2. Relaciones de fase para señal de crominancia corregida.

Color	Componentes		Magnitud/fase (ec. 1.4.4)
	0.877(R - Y)	0.493(B - Y)	
Azul	-0.0965	0.439	0.450 /347°
Rojo	0.614	-0.148	0.631 /103.5°
Magenta	0.517	0.291	0.594 /60.7°
Verde	-0.517	-0.291	0.594 /240.7°
Cyan	-0.614	0.148	0.631 /283.5°
Amarillo	0.0965	-0.439	0.450 /167°

Además del sistema NTSC existen otros sistemas para TV cromática y los cuales corresponden a dos estándares europeos. Estos son el PAL y el SECAM, sobre los cuales se describirán brevemente algunas de sus características principales.



### 1.4.1. Phase Alternation Line (PAL)

Este sistema se diseñó sobre las bases del NTSC. Emplea las mismas señales diferencia (B-Y) y (R-Y) como señal de color, haciéndole una modificación al signo de la señal B-Y que se transmite en cada línea.

El objetivo principal de PAL fue resolver los problemas del NTSC: el ojo es muy sensible a los errores de tono (se producen en el NTSC); PAL se basa en transformar errores de tono en errores de saturación, menos sensibles al ojo humano. PAL permite resolver errores de tono si el error de fase es de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , pero el precio es perder resolución vertical (no se degradaría si la croma no cambiara en vertical. C -croma- varía de una línea a otra lentamente, por eso la resolución vertical se degrada; cuanto más varía C más se degradará).

Características principales:

1. Este sistema conserva la modulación en cuadratura, pero con los ejes Cb y Cr, asignándole a ambos igual ancho de banda.  
La fase del producto de modulación cambia de línea a línea en 180 grados, teniéndose así una línea llamada NTSC y la siguiente llamada PAL con fase de 180 grados.
2. El burst se trasmite con fase de 135 grados durante las líneas NTSC y de 225 grados durante las líneas PAL.
3. Confía al propio ojo humano el corregir errores de fase por integración de la imagen, para errores de fase de hasta unos 5 grados. Se parte de la premisa que el contenido de color de 2 líneas consecutivas es prácticamente el mismo. (PAL Simple).
4. En vez de que el ojo integre y corrija, lo hace un circuito, para lo cual es necesario almacenar una línea. (PAL-N).
5. La frecuencia de subportadora original; es de 4.43MHz en sistema PAL Simple y en PAL-N es de 3.58MHz.
6. La señal de vídeo se trasmite por el método de modulación de amplitud con polaridad negativa (máximo brillo corresponde a la mínima amplitud de portadora) y banda lateral residual para mayor estabilidad de sincronismo (máxima energía de la portadora) en zonas de recepción pobre.
7. Anchura de banda nominal del canal radio eléctrico: 6MHz.
8. Separación de la portadora de sonido respecto de la de imagen: +4.5MHz.
9. El sonido se trasmite por medio de una portadora independiente de la de imagen. Se emplea para el audio el método de modulación de frecuencia, denominado internacionalmente como F3.

### 1.4.2. Séquential Couleur à Mémoire (SECAM)

El SECAM también estaba diseñado sobre las bases marcadas por el NTSC pero tratando de evitar sus defectos. Es el estándar que se usa en Francia. Emplean las mismas señales diferencia (B-Y) y (R-Y) como señal de color, y lo que hace es una transmisión secuencial de estas señales diferencia línea a línea, y la señal de color transmitida es modulada en frecuencia, siendo esto claramente diferente del sistema NTSC.

El sistema SECAM actualmente en uso, es realmente el sistema SECAM III. Una variante posterior, que llegó demasiado tarde para ser considerada para ser usada como norma europea es el SECAM IV. Su principal diferencia con las versiones anteriores del SECAM es que las dos componentes de color son transmitidas conjuntamente en líneas alternas, mientras que la referencia de la subportadora se transmite en las líneas intermedias. Esto hace un sistema muy robusto y no necesita del "burst" de color en el pedestal posterior. Algunos

ingenieros creen que, de haber llegado a tiempo para ser considerado por grupo de color de la EBU, este sistema habría sido adoptado sin duda como la única norma de color para Europa.

### 1.4.3. Combinaciones de los principales sistemas

Existen combinaciones de sistemas cromáticos con sistemas de televisión monocromática. Es importante tener en cuenta que los sistemas de televisión cromática compatibles sólo agregan una información adicional sobre una señal de televisión monocromática, esto es, la señal de televisión monocromática es una señal base, a la cual se le agrega la información de color mediante cualquiera de los sistemas cromáticos existentes, por lo que puede haber diferentes combinaciones de los sistemas de televisión monocromática con los sistemas de televisión cromática.

Cuando se empezaron a diseñar los televisores, los ingenieros decidieron utilizar la frecuencia de línea AC (50 ó 60Hz) para usarla en el área de sincronismo vertical. Esto lo hicieron con el motivo de eliminar unas barras de distorsión en la imagen, que las fuentes de alimentación y cámaras de la época le causaban. Era también una manera de estandarización.

El sistema PAL es utilizado por la mayoría de los países que trabajan a 50 Hz. Una de las diferencias más notables en este sistema, es que la frecuencia de color es de 4.433618 MHz, mientras que la del sistema NTSC es de 3.58MHz. Además, el PAL brinda 625 líneas de resolución vertical, lo que brinda más detalle que el NTSC.

SECAM, fue desarrollado en Francia en la década de los 60. En este sistema, la transmisión de color se realiza de manera lineal, en el cual se transmiten los colores, uno a la vez. Una de sus ventajas es que requiere sólo dos controles (Contrast y Brightness), mientras NTSC utiliza cuatro controles (Tint, Saturation, Contrast y Brightness) y el PAL utiliza tres (Saturation, Contrast y Brightness).

Algunas de las combinaciones posibles para los sistemas de televisión cromática se muestran en las tablas 1.4.3, 1.4.4 y 1.4.5.

Tabla 1.4.3. Combinaciones posibles para el sistema NTSC.

SISTEMA	NTSC M
Líneas / Campo	525/60
Frecuencia Horizontal	15.734 kHz
Frecuencia Vertical	60 Hz
Frecuencia de la Subportadora de Color	3.579545 MHz
Ancho de Banda de la Señal de Video	4.2 MHz
Portador de sonido	4.5 MHz

## Capítulo 1. Televisión Analógica

Tabla 1.4.4. Combinaciones posibles para el sistema PAL.

Sistema	PAL B, G, H	PAL I	PAL D	PAL N	PAL M
Líneas / Campo	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60
Frecuencia Horizontal	15.625 KHz	15.625 KHz	15.625 KHz	15.625 KHz	15.750 kHz
Frecuencia Vertical	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Frecuencia de Subportadora de Color	4.43361MHz	4.433618MHz	4.433618MHz	3.582056MHz	3.575611MHz
Ancho de Banda de Señal de Video	5.0 MHz	5.5 MHz	6.0 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz
Portadora de Sonido	5.5 MHz	6.0 MHz	6.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz

Tabla 1.4.5. Combinaciones posibles para el sistema SECAM.

Sistema	Secam B, G, H	Secam D, K, K1, L
Líneas / Campo	625/50	625/50
Frecuencia Horizontal	15.625 kHz	15.625 kHz
Frecuencia Vertical	50 Hz	50 Hz
Ancho de Banda de la Señal de Video	5.0 MHz	6.0 MHz
Portadora de Sonido	5.5 MHz	6.5 MHz

### 1.5. Mejoras a la televisión analógica

Durante los últimos años se han realizado mejoras tecnológicas en la transmisión y recepción de la televisión analógica.

Estas mejoras, aunque no han revolucionado el concepto original de la televisión como lo ha hecho la introducción de la televisión digital, se han realizado con la intención de mejorar la calidad de la imagen y sonido.

En los siguientes puntos se describirán brevemente estas nuevas funcionalidades.

#### 1.5.1. Televisión estereofónica

La estereofonía compensa la falta de sensación espacial de la transmisión monoaural.

La sensación estéreo se logró combinando dos señales, L y R (de left y right, izquierdo y derecho en inglés respectivamente), de manera tal que cada una de ellas se originaba en la

## Capítulo 1. Televisión Analógica

señal captada por sendos micrófonos distanciados a una distancia similar a la que separa los oídos de una persona.

Básicamente el cerebro tiene en cuenta los factores siguientes para la percepción espacial del sonido, proveniente de dos fuentes sonoras  $F_i$  y  $F_d$ :

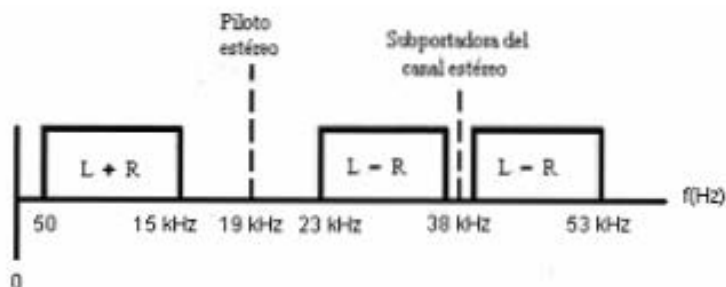
- La diferencia de los niveles de intensidad producida por los rayos directos sobre los oídos izquierdo y derecho.
- La diferencia de tiempos entre las señales anteriores recibidas en cada oído.
- El efecto auditivo de los rayos cruzados limita el campo de audición a aproximadamente el triángulo formado por el oyente y las dos fuentes sonoras.
- El índice de nitidez o inteligibilidad de la sala de audición. El valor máximo se obtiene para tiempos de reverberación de 50 ms, pero a más de 500 ms el campo reverberante enmascara al campo directo.
- Toda reflexión inferior a un retardo de 30 ms no altera el efecto direccional del ente sonoro y mejora la inteligibilidad.

Para este efecto se realizaron diferentes sistemas, algunos de los cuales son el sistema americano BTSC (Broadcast Television System Committee), y los sistemas europeos FM-FM y NICAM (Near Instantaneously Companded Audio Multiplex).

### 1.5.1.2. Sistema BTSC (Broadcast Television System Committee) o sistema MTS (Multichannel Television Sound, 1984, EIA, Estados Unidos)

Este sistema consiste en codificar tres canales adicionales de audio dentro de una portadora de audio de formato NTSC. Éste fue adoptado por la FCC como el estándar estadounidense para la transmisión de televisión estereofónica en 1984. Después fue adoptado también por Canadá, México, Argentina, Taiwán y otros países, algunos de los cuales usan PAL en vez de NTSC.

Para el primer canal, este sistema aplica una filosofía similar a la que se implementó en la radio de FM estéreo. El canal de transmisión de audio está formado por la suma de los canales izquierdo y derecho:  $L+R$  (el monoestéreo existente), una señal piloto y la señal diferencia  $L-R$  (esta última usada para agregar el sonido estereofónico) que se modula en amplitud sobre una subportadora en doble banda lateral con portadora suprimida a una frecuencia del doble de la señal piloto (idénticamente que en FM estéreo como se muestra en la figura 1.5.1.a).



a)

## Capítulo 1. Televisión Analógica

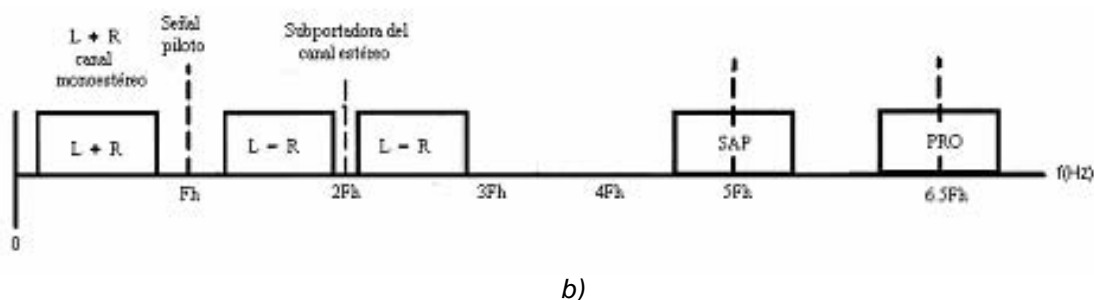


Figura 1.5.1 a) espectro de la señal de FM estéreo, b) espectro de la señal del estándar BTSC.

La diferencia, como se puede observar en la figura 1.5.1.b) radica que en vez de usar una frecuencia de 19 kHz para la señal piloto se usa la frecuencia de sincronización horizontal (15.734 kHz) y por lo tanto la señal L-R se transmite al doble de esta frecuencia.

La información estereofónica es codificada de tal forma que se agrega una compresión-expansión (compansión) para mejorar la relación señal a ruido (S/N) y consecuentemente reducir el ruido. Debido a este proceso de codificación aumenta el costo de los televisores.

El sistema BTSC tiene la posibilidad de adicionar otros dos canales, llamados SAP (Second Audio Program) y PRO (Professional Channel). La señal que se transmite en el canal SAP tiene un procesamiento dinámico, similar al del canal L-R, para mejorar la relación S/N y luego modula a la subportadora en FM. Se lo suele utilizar para hacer el doblaje a otro idioma del audio original.

El canal PRO puede ser usado para transmitir datos con un ancho de banda de 3 kHz lo que lo limita a ser usado para transmisión de palabras. Este canal de un solo sentido es provisto para uso interno de la estación. Es usado normalmente para la recaudación de noticias electrónicas en las transmisiones de noticiarios a locaciones remotas. Los receptores para este canal no están a la venta al público.

El canal SAP y el PRO, como se muestra en la figura 1.5.1.b), se transmiten a una frecuencia de 5 y 6.5 veces la frecuencia de sincronización horizontal respectivamente. [24][42]

### 1.5.1.3 Sistema de doble portadora o sistema FM-FM (Alemania, 1981)

En este sistema se utilizan dos portadoras de sonido separadas para transmitir dos señales completamente independientes: una señal estéreo o un sonido dual (dos monoestéreos). La primera de las portadoras es la convencional de la señal de TV (aquí llamada canal 1). La segunda está ubicada por encima de la anterior debiéndose cumplir una relación enclavada con la frecuencia de sincronización horizontal (canal 2). Cada una de éstas se modulaba en frecuencia.

### 1.5.1.4 Sistema NICAM 728

El sistema NICAM (Near Instantaneously Companded Audio Multiplex) fue desarrollado en los años 80 por la BBC y fue lanzado en el Reino Unido en 1991 como su estándar de transmisión de televisión estereofónica. Algunos países lo usan como Dinamarca, Francia, Hong Kong y Nueva Zelanda.

En un sistema multicanal digital que usa dos portadoras para transmitir señal de audio, una portadora ya existe en la transmisión de TV, modulada por una señal analógica monoestéreo (compatible). La otra portadora está modulada en DQPSK (Diferential Quadrature

## Capítulo 1. Televisión Analógica

Phase Shift Keying que permite que la información sea transportada por el cambio de fase relativo, previendo además de una mayor tolerancia a la dispersión y no linealidades). El sistema NICAM ofrece las siguientes posibilidades:

La transmisión digital puede ocasionar alteraciones en la señal convencional, por lo cual deben tomarse en cuenta los siguientes parámetros:

- Un canal digital de sonido estéreo.
- Dos canales digitales monofónicos independientes.
- Un canal digital monofónico y un canal de datos a 352 kbit/s.
- Un canal de datos de 704 kbit/s.

El sistema NICAM tiene una resolución de 14 bits y una frecuencia de muestreo de 32 kHz. La transmisión se realiza con una velocidad de 728 kbit/s, gracias a la compresión de datos, usando un factor de escala, que reduce de 14 a 10 los bits transmitidos.

En Europa la mayoría de las transmisiones se hacen con el sistema doble portadora (FM-FM), sin embargo los requerimientos de este sistema son muy severos dado que la más mínima imperfección causa una considerable intermodulación, por lo cual NICAM 728 ha sido recientemente adoptado como el sistema estándar europeo para la transmisión de sonido digital en televisión.

La transmisión digital puede ocasionar alteraciones en la señal convencional, por lo cual se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Modulación de fase de la portadora secundaria de video (ICPM, Incidental Carrier Phase Modulation) que se produce tanto en el transmisor como en el receptor, y que puede originar un ruido de interportadora que se manifieste en la salida de audio del receptor.
- Diafonía, propia de transmisiones duales o estéreo, determinada por las características del matrizador del codificador.
- Asimetrías en los valores de desviación de frecuencia correspondientes a las señales suma y diferencia.
- Distorsiones no lineales, producen intermodulación en cualquier punto de la cadena transmisora-receptora, como efecto Muaré en la imagen (aparición de un patrón repetitivo no deseado).

### 1.5.2. Visualización de diálogos en pantalla (Closed Caption)

La visualización de los diálogos en pantalla es útil cuando es imposible o muy difícil escuchar el audio del receptor, cuando se escribe en subtítulos el audio traducido de la transmisión. Se dice que estos subtítulos son cerrados porque el texto hablado se codifica electrónicamente de tal manera que, aunque sea invisible para un espectador regular, un decodificador (que puede estar dentro o fuera del receptor) puede decodificar la palabra hablada y mostrarla en el área de la pantalla destinada a ello.

El estándar usado para las transmisiones con visualización de diálogos en pantalla para NTSC es el EIA-608 (de Electronic Industries Alliance, quien lo desarrolló), también es conocido como subtítulos de línea 21 (line 21 captions). Debido a que en toda la programación NTSC, los subtítulos de este estándar son codificados y transmitidos dentro de la línea 21 del intervalo de borrado vertical.

### 1.5.3. Sonido envolvente (Surround sound)

El sonido envolvente ofrece una dimensión adicional al sonido. Éste no sólo transporta el estéreo normalizado de los canales derecho e izquierdo, sino que también transporta un canal central de información para diálogos y un canal, que como su nombre lo indica, tiene información para efectos de sonido envolvente. El canal central es transmitido como un canal monoestéreo el cual mezcla las señales izquierda y derecha. El surround entra como una señal de diferencia (señal derecha menos la señal izquierda) con una reducción del ruido. Los requerimientos para la reproducción del surround son una bocina diseñada para este tipo de sonido y un televisor (audio/video) que pueda realizar la decodificación, así como también software grabado en sonido surround. Si no se cuenta con el equipo necesario para decodificar la señal de surround, únicamente se realizará la reproducción del sonido en modo convencional estéreo.

### 1.5.4. Supervideo (S-Video)

Supervideo es una tecnología para la transmisión de señales de video sobre un cable dividiendo la información en dos señales: una para el color (crominancia) y otra para el brillo (luminancia). Cuando el supervideo se envía a una televisión se proyecta una imagen más definida que la señal de video compuesta, donde la información es transmitida como una sola señal por un conductor. Esto explica el porqué las televisiones están diseñadas para mostrar las señales separadas de luminancia y crominancia.

Para usar el supervideo, el transmisor debe soportar esta señal en la salida, mientras que el receptor debe tener una entrada especial.

### 1.5.5. Imagen en imagen (Picture in Picture o PiP)

El despliegue de imagen en imagen es una opción disponible en los televisores (figura 1.5.2). Esta opción consiste en que una segunda imagen, proveniente de otra fuente conectada de imágenes de video, pueda ser visualizada en un pequeño cuadro en una esquina de la imagen principal de televisión, con tan sólo presionar un botón. Esta fuente puede ser una grabadora de video, un reproductor de disco láser o una cámara de seguridad por ejemplo.

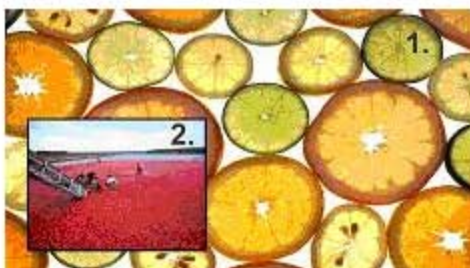


Figura 1.5.2. Ejemplo de un despliegue de imagen en imagen en un televisor.

Debido a que el reproductor de video tiene un sintonizador de televisión, es posible desplegar un segundo canal como una imagen PiP. Esto permite observar un canal, mientras se ve otro. El cuadro que contiene la imagen PiP puede ser cambiado en tamaño y/o movido a través de la pantalla. Además de que esta imagen en el pequeño recuadro puede hacerse la imagen principal y viceversa.

### 1.5.6. Pantallas planas

Las pantallas planas permiten ver la imagen de televisión con una mayor precisión debido a que no existe distorsión en las esquinas y las orillas. En una pantalla convexa o curvada una imagen está estirada debido a que hay más área de superficie. Las pantallas planas son mejores debido a que reflejan una menor cantidad de luz ambiental, mientras que las televisiones de pantalla convexa pueden reflejar toda la luz de alrededor hacia el observador.

Otra característica de las televisiones de pantalla plana es que son más compactas que las de pantalla convexa, además de que ofrecen mejor uniformidad en el brillo y color en la imagen.

Existen diferentes tecnologías de pantallas planas. Aquellas que basan su funcionamiento en el LCD (son las siglas en inglés de Pantalla de Cristal Líquido, Liquid Crystal Display) o en el plasma, y la mayoría soporta una relación de aspecto de 16:9, propio de la Alta Definición, que proporciona mejor calidad y ancho de la imagen.

También en la mayoría de los sistemas existen tres tipos de colores de píxeles, de este modo, cada píxel tiene fósforo de luz roja, fósforo de luz verde y fósforo de luz azul. Los tubos de rayos catódicos son usados de manera similar a la TV convexa, ya que se trata de tres tubos largos para proyectar la imagen. La mayoría de éstos puede aceptar cualquier formato de video.

### 1.5.7. Pantallas de relación de aspecto 16:9

La relación de aspecto 16:9 es usada en las televisiones de pantalla ancha. En la relación 4:3, el ancho de la pantalla es 33 por ciento más que la altura, mientras que en la relación 16:9 ésta es 75 por ciento mayor. La imagen formada es de 960 x 576 píxeles. La relación de aspecto 16:9 corresponde al campo normal de visualización de los seres humanos. Por lo cual hay una sensación más natural al observar la pantalla, y por este motivo la mayoría de las películas están hechas en este formato.

En la figura 1.5.3 se puede ver la diferencia que existe entre las relaciones de aspecto 4:3 y 16:9, y como se podrá observar, el campo de visión es más amplio en la relación 16:9.

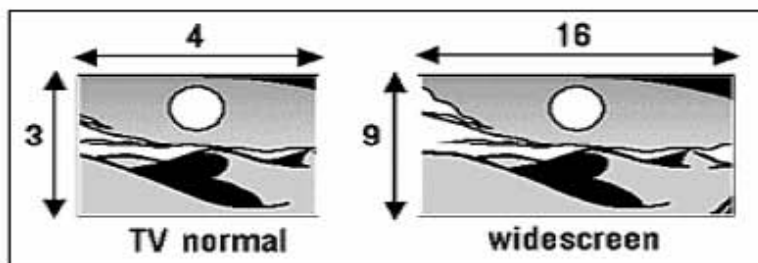


Figura 1.5.3. Imagen de las pantallas de TV en formato 4:3 y formato 16:9

Es apenas en los últimos años que las televisiones que utilizan esta relación están siendo fabricadas, dado que anteriormente los costos para producirlas eran muy elevados, pues se requiere de una técnica diferente a lo convencional en la creación del tubo.



## *Capítulo 1. Televisión Analógica*

La difusión de relación 16:9 en los televisores tiene la ventaja de que la imagen completa puede ser visualizada automáticamente en toda su anchura. La mayoría de la transmisiones de televisión se hacen todavía en la relación 4:3, por lo cual los televisores de relación 16:9 tienen que rellenar las partes sobrantes con barras negras a los costados, aunque a veces esto también es usado para los subtítulos o incluso puede ser completamente llenado por la imagen con un alargamiento.

## Capítulo 2. Televisión Digital

---

### 2.1 Ventajas de la TV digital sobre la analógica

Hasta hace unos años existía una reticencia al almacenamiento y a la transmisión de señales de audio y video digitales, debido al gran ancho de banda que se necesitaba comparado con sus contrapartes analógicas. Esto condujo a un pesimismo expansivo durante los años 80 sobre la posibilidad de llevar a los hogares señales de televisión digital y contribuyó a que se siguieran desarrollando los sistemas de televisión analógica. Sin embargo, esta desventaja que se tenía por la gran demanda de ancho de banda se superó gracias a los avances logrados en las técnicas de compresión de datos que permitían el uso de anchos de banda más pequeños. En un corto tiempo, estas técnicas han dejado obsoleta a la televisión analógica y son las que fundamentan a la televisión digital. Incluso las técnicas de compresión se han mejorado hasta el punto en que es posible poner varios canales digitales en el ancho de banda ocupado por un canal de televisión analógica.

La era digital en la televisión ya es prácticamente una realidad. Actualmente la televisión analógica está siendo desplazada por la digital dada la gran cantidad de defectos (susceptibilidad a ruidos e interferencias) y problemas que presenta la primera tanto en la transmisión como en la recepción. Este cambio tecnológico se hace necesario no únicamente para solucionar los defectos y lograr mejoras de recepción y transmisión, sino también para brindar una serie de diferentes servicios a los usuarios, y los cuales además están transformando el concepto actual de la televisión. A continuación se enuncian varias de las ventajas y desventajas que la televisión digital ofrece sobre la analógica.

#### 2.1.1. Ventajas para el usuario

La ventaja que más salta a la vista es la calidad de imagen que se puede tener con la televisión digital, ya que ésta posee un mayor número de líneas por campo que su contraparte analógica, pudiéndose desplegar así más fácilmente la imagen en Alta Definición. Además, como es transmitida en unos y ceros, la regeneración de la señal es más fácil aunque la amplitud de ésta llegue muy débil en el receptor, lo cual no afecta la reconstrucción de una imagen y sonido definido.

También se tiene la cuestión de la relación de aspecto que se ofrece en la televisión digital. La relación de aspecto original para la industria de imágenes animadas fue de 4:3. De acuerdo con datos históricos, esta relación fue decidida de una manera casi arbitraria por Thomas A. Edison mientras trabajaba con George Eastman en la primera película de imagen animada [6]. Esta relación de aspecto, la cual fuera usada en la década de los 30 cuando comenzaron los experimentos de radiodifusión de televisión, se convertiría posteriormente en el estándar conforme fue creciendo la industria y se le conocería como relación de aspecto "estándar de la academia". Actualmente, todos los sistemas de televisión digital presentan el formato de pantalla ancha 16:9, de manera que se puedan disfrutar mejor los programas con una vista más amplia (refiérase a la figura 1.5.3). Esto no quiere decir que todos los servicios sean de pantalla ancha, sino que los estándares permiten sólo esa posibilidad y conforme

avance el tiempo, los productores realizarán cada vez más programación digital con este formato.

Para complementar la experiencia de pantalla ancha, la televisión digital también entrega un sonido de calidad cinematográfica. Actualmente la calidad de sonido se ha convertido en uno de los puntos fuertes de la televisión moderna. Extrañamente es en este punto donde residen algunas de las diferencias más grandes entre el sistema europeo DVB y el sistema americano ATSC, ya que el primero usa el método de codificación MPEG, mientras que ATSC usa el sistema AC-3 de los laboratorios Dolby. Ambos tienen la capacidad de entregar sonido multicanal y servicios asociados, como diálogos en diferentes lenguajes.

También se tiene la ventaja, hablando en el caso de ATSC, de que se pueden aprovechar los mismos 6 MHz que se usan actualmente en un canal de televisión para transmitir ya sea una señal en Alta Definición que ocupe todo el ancho de banda o varias señales en definición estándar (como la que se tiene actualmente con la televisión analógica). Esto se ilustra en la figura 2.1.1.

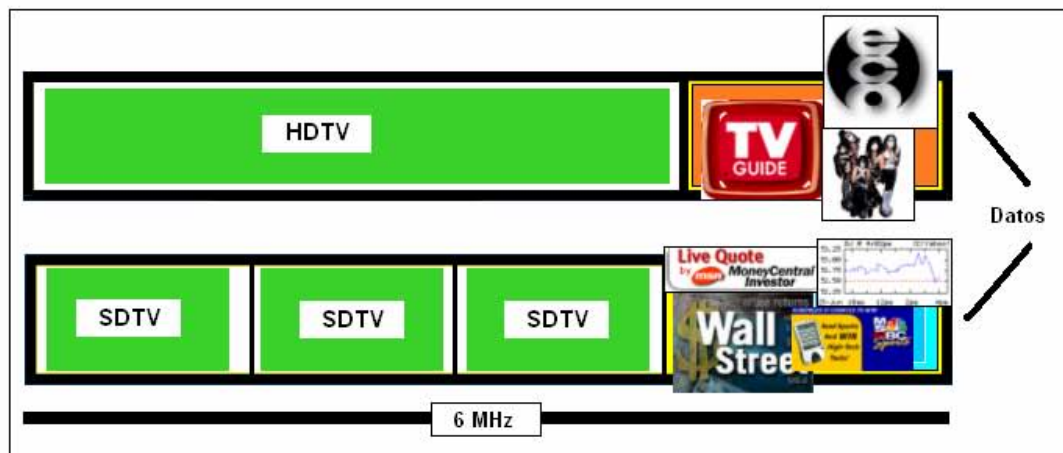


Figura 2.1.1. Canal de 6 MHz donde se muestran las posibilidades de transmisión de televisión digital dentro del ancho de banda de 6 MHz.

Además, como se observa en la figura 2.1.1, dentro de este mismo ancho de banda se pueden enviar datos, con lo cual se abre otra modalidad que proporciona la televisión digital, y que es la interactividad. Con la televisión digital interactiva se pueden ofrecer una distinta gama de servicios para el usuario, y esto se logra mediante la conexión telefónica para tener realimentación con los proveedores de servicios. Algunos de estos servicios están asociados a las emisoras, por ejemplo información referente a la programación que se esté transmitiendo en ese momento, estadísticas deportivas, reseñas de películas, encuestas televisivas, participación en concursos, etcétera. Otros servicios son los independientes de la programación, donde los mismos radiodifusores o proveedores pueden ofertar productos para que los usuarios realicen telecompras, o puede haber servicios informativos para estar al tanto de eventos nacionales e internacionales como finanzas, deportes, etcétera.

Debido a esto y a otros servicios que se puedan ofrecer, las empresas de televisión actuales se pueden convertir en empresas de redes de telecomunicaciones.

El aprovechamiento de toda esta información por parte del usuario es posible gracias a las diversas aplicaciones de que dispone el receptor de televisión digital. Cada operador puede desarrollar las aplicaciones que proporcionen los servicios demandados por sus clientes, y éstas se instalan en el receptor de televisión digital para dar acceso a dichos servicios. Una de estas aplicaciones es la EPG (Electronic Program Guide - Guía Electrónica de Programación), que interpreta la información sobre programas de las emisoras y se le muestra al usuario,

dando la posibilidad (según la versatilidad del receptor) de programar la grabación de programas, ver la descripción de los mismos, etcétera. Muy parecido a lo que se tiene con los servicios de televisión por satélite que existen actualmente.

Otra cualidad que tiene la televisión digital y de la cual se habla bastante es la recepción de la televisión en dispositivos móviles como celulares o PDA's (Personal Digital Assistant o Asistentes Personales Digitales)<sup>1</sup>. Aunque en el caso de México esto no se vislumbra todavía como una aplicación a corto plazo o que vaya a ser demasiado explotado debido a las limitaciones del estándar ATSC, no dejan de ser interesantes las posibilidades que se pueden alcanzar en otros países con otro estándar como el DVB.

### 2.1.2. Ventajas para el Gobierno

La señal de televisión digital tiene la característica de permitir una mejor administración del espectro electromagnético. Debido a que este tipo de señal sufre y produce menor interferencia que la de televisión analógica, todos los canales pueden acomodarse de manera adyacente en una misma zona metropolitana, con lo cual se puede asignar una banda del espectro más pequeña para la radiodifusión de televisión, con canales de 6 MHz, y donde por lo tanto se puede transmitir la misma cantidad de canales que los ya existentes, liberando de esta forma una porción del espectro electromagnético que se puede traducir en ingresos para el erario público cuando esas frecuencias "desocupadas" se liciten para otros servicios a los mismos o nuevos concesionarios. También se puede dar el caso de que se deje el mismo bloque asignado para la radiodifusión en televisión para que se tenga la posibilidad de incluir más canales de los que hay actualmente en la misma banda de frecuencias.

### 2.1.3. Ventajas para los radiodifusores, fabricantes de equipo y proveedores de servicio

Para los radiodifusores se presenta la ventaja de que con un solo transmisor pueden transmitir varios programas diferentes simultáneamente, mientras que con la televisión analógica se requiere de un transmisor por cada programa. En cada canal se emite un único flujo MPEG-2 de transporte, que puede contener un número arbitrario de flujos de vídeo, audio y datos. Aunque varios operadores compartan el uso de un canal multiplexado (*multiplex*), cada uno puede gestionar el ancho de banda que le corresponde para ofrecer los contenidos que desee. Además de que también se requiere una menor potencia de transmisión. El resultado es que es más barato transmitir los programas de televisión (aunque en principio se tenga que asumir el costo de modernizar el equipo) y también se incrementa el número de programas y las opciones para el televidente, ya que productoras de bajo presupuesto pueden competir con las televisoras tradicionales.

En cuanto a los fabricantes, la demanda de equipos receptores de televisión digital va a seguir creciendo conforme se cumplan las etapas de introducción de televisión digital a todos los países y para los diferentes estándares existentes, mientras que a los proveedores de servicios, con las opciones de interactividad que ya se mencionaban, se les abre un nuevo mercado donde poder realizar diversas aplicaciones para los televidentes.

La introducción de la televisión digital en México va a brindar ésta serie de ventajas para los usuarios, radiodifusores y gobierno. Durante los primeros años este proceso ha sido lento, principalmente debido al costo de los receptores, ya que si bien a últimas fechas han bajado los costos considerablemente, debido a la economía de escala, aún siguen teniendo un alto precio para la mayoría de los mexicanos. La televisión digital es una tecnología que tiene todo para revolucionar el concepto de televisión actual, su introducción, no sólo en México, sino en todos

---

<sup>1</sup> Un PDA es un dispositivo de pequeño tamaño que combina un ordenador, teléfono/fax, Internet y conexiones de red.

los países del mundo, va a significar un cambio más importante de lo que fue el paso de la televisión en blanco y negro a la televisión a color.

## 2.2 Estándares de televisión digital

En la televisión digital existen tres estándares que reemplazarán a los ya existentes sistemas de televisión analógica a color (NTSC y PAL), estos son: el ATSC (Advanced Television System Committee - Comité de Sistemas de Televisión Avanzada), el DVB (Digital Video Broadcasting - Radiodifusión de Video Digital) y el ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting - Radiodifusión de Servicios Integrados Digitales).

Cada estándar define sus características y técnicas de operación, algunas compartidas y otras diferentes, que los hacen destacar más en algunos aspectos que en otros. Una de las problemáticas que surgen actualmente con la introducción de la televisión digital terrestre en un país es precisamente la elección de uno de estos estándares, ya que hay que considerar las características de cada uno (así como también otros factores que mencionaremos en el capítulo 4) para ver cual es la opción más adecuada. Las características de estos tres estándares pueden resumirse como sigue en los siguientes párrafos.

### 2.2.1 Estándar ATSC (Advanced Systems Television Committee)

El Comité de Sistemas de Televisión Avanzada es el grupo que desarrolló el estándar ATSC para Estados Unidos y que ahora ha sido adoptado en varios países, entre ellos Canadá, México y Corea del Sur. Esta tecnología se desarrolló con la intención de reemplazar al sistema NTSC de televisión analógica y producir imágenes de pantalla ancha, es decir, en formato 16:9 con imágenes de 1920x1080 píxeles. Sin ser la anterior la única resolución que permite, ya que se pueden enviar varios canales en resolución estándar por una sola transmisión. También proporciona audio con calidad de cine debido a que usa el formato Dolby digital (AC-3) para proveer sonido envolvente de 5.1 canales.

El sistema también incluye la capacidad de portar el formato de película (24 cuadros por segundo) aparte del formato NTSC.

El estándar ATSC para televisión digital terrestre usa un canal de 6 MHz para transmitir un flujo de 19.4 Mbps, y también puede transmitir hasta 38.8 Mbps igual para un canal de 6 MHz pero a través del sistema de televisión por cable.

El esquema de modulación es 8-VSB (Vestigial Sideband Modulation o Modulación de Banda Lateral Residual), que se refiere a utilizar 8 niveles de voltaje. Este modo es para transmisión de señal abierta, para televisión por cable se utiliza la modulación 16-VSB. También en este estándar se define, para transmisión vía satélite, un esquema de modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Key). Fue diseñado para usar un solo transmisor, bajo el esquema de redes de frecuencia múltiple (MFN - Multi-Frequency Network)<sup>2</sup>.

El sistema de transmisión consiste de 4 partes:

- El subsistema de video, donde los datos son codificados usando el estándar MPEG-2.
- El subsistema de audio, donde se codifica el audio con AC-3 (dolby digital).
- La parte de servicio de multiplexaje y transporte, donde la salida de los subsistemas de audio y video se acoplan junto con los datos para crear un flujo de transporte.

---

<sup>2</sup> Las redes MFN son aquellas redes de transmisores los cuales transmiten en frecuencias diferentes en cada uno para evitar interferencias. Así para la TV analógica, por ejemplo, un canal que se transmite en una región a una determinada frecuencia se necesita transmitir en otra frecuencia en otra región del país para evitar interferencias.

- Y finalmente la parte de transmisión, donde el flujo de transporte se codifica para prevenir errores y es modulado para el canal de soporte apropiado.

Algunos de los aspectos del estándar ATSC están patentados, incluyendo la codificación de audio AC-3 y la modulación VSB<sup>3</sup>.

Existen diferentes formatos de imagen para ATSC, estos son SDTV (Standard Definition Television), EDTV (Enhanced Definition Television) y HDTV (High Definition Television), cada uno de los cuales puede tener diferentes características. En la tabla 2.2.1 se muestran estas características para cada formato.

Tabla 2.2.1. Características básicas del formato ATSC

	<b>SDTV</b>	<b>EDTV</b>	<b>HDTV</b>	
	<b>Resolución Máxima</b>	480i	480p	720p
<b>Relación de aspecto</b>	4:3	4:3 y 16:9	16:9	16:9
<b>Líneas de exploración</b>	525 total 480 activas	525 total 480 activas	750 total 720 activas	1125 total 1080 activas
<b>Frecuencia de exploración</b>	15750 Hz	31500 Hz	45000 Hz	33750 Hz
<b>Pixelización</b>	640x480	704x480	1280x720	1920x1080
<b>Velocidad de cuadro (fps)</b>	24p,30p,60p o 60i	24p,30p,60p o 60i	24p,30p o 60i	24p,30p o 60i
<b>Descripción</b>	Imagen y sonido igual al DVD	Mejor imagen	Máxima calidad de imagen	Máxima calidad de imagen

**Nota: las letras p e i que se encuentran en los campos de resolución máxima y velocidad de cuadro corresponden al tipo de formación de la imagen: i-entrelazado y p-progresivo**

En el capítulo 3 se estudiará con más profundidad las características de este estándar de televisión digital terrestre.

## 2.2.2 Estándar DVB (Digital Video Broadcasting)

El sistema europeo está basado en las especificaciones del DVB-T (Digital Video Broadcast-Terrestrial), realizadas en el *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)*, y recogidas en el documento ETS 300 744 de marzo de 1997. Dicho estándar ha sido adoptado por los países europeos, así como por naciones de otros continentes, por ejemplo Australia y la India.

Como se recoge en la propia norma, el proyecto DVB (Digital Video Broadcasting) es un consorcio de organizaciones tanto públicas como privadas, con objeto de establecer el marco para la introducción de servicios de televisión digital basados en MPEG-2. En el sistema se definen los esquemas de modulación y codificación de canal para la difusión de servicios terrestres de LDTV (Limited Definition Television), SDTV, EDTV y HDTV.

<sup>3</sup> El esquema de modulación VSB está patentado por Zenith y el esquema de codificación AC-3 está patentado por Laboratorios Dolby.

El desarrollo del DVB-T se basó en un conjunto de requisitos de usuario producido por el Módulo Comercial (Commercial Module) del proyecto DVB. Los miembros del DVB contribuyeron al desarrollo técnico del DVB-T a través del DTTV-SA (Digital Terrestrial Television-System Aspects), grupo de trabajo del Módulo Técnico (Technical Module). Proyectos europeos como SPECTRE, STERNE, HD-DIVINE, HDTV, dTTb, y otras organizaciones desarrollaron hardware de sistema y resultados, que eran comunicados al DTTV-SA.

El sistema DVB fue diseñado para trabajar en un ancho de banda de 8 MHz al igual que el formato PAL y SECAM, sin embargo éste puede ser escalado igual que ATSC a anchos de banda de 6 ó 7 MHz. Una de las principales características del DVB-T es el empleo de paquetes MPEG-2 para transportar los datos, lo cual implica que es transportable cualquier información que sea digitalizable (vídeo, audio, datos multimedia, etcétera). Además, se incluyen en las especificaciones un conjunto de canales de retorno para los usuarios con objeto de interactuar con los servicios digitales recibidos.

El esquema de modulación empleado es el COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) para la televisión terrestre (en satélite es QPSK-Quadrature Phase/Shift Keying- y en cable es 64-QAM-Quadrature Amplitud Modulation). El COFDM es un esquema de modulación especialmente apropiado para las necesidades de los canales de difusión terrestres, principalmente por los siguientes motivos:

- Puede soportar altos valores de multitrayectoria (encontrados principalmente en grandes centros urbanos, mercado potencial de la televisión digital terrestre), con alta dispersión de retardos entre las señales recibidas.
- La normativa DVB-T admite su empleo tanto en redes multifrecuenciales MFN, en las que la planificación es similar a la de los existentes sistemas analógicos, como en redes isofrecuenciales o SFN (Single Frequency Networks, se tienen varios emisores y una sola frecuencia)<sup>4</sup>.
- COFDM además soporta interferencia co-canal de banda estrecha, como la que producirían otros servicios analógicos terrestres.

Tabla 2.2.2. Características básicas del formato DVB

	LDTV	SDTV	EDTV	HDTV	
	<b>Resolución Máxima</b>	288p	576i	576p	720p
<b>Relación de aspecto</b>	4:3	4:3	4:3 y 16:9	16:9	16:9
<b>Líneas de exploración</b>	625 total 288 activas	625 total 576 activas	750 total 720 activas	750 total 720 activas	1250 total 1080 activas
<b>Frecuencia de exploración</b>	15625 Hz	15625 Hz	31250 Hz	37500 Hz	31250 Hz
<b>Pixelización</b>	352x288	720x576	1080x720	1280x720	1920x1080
<b>Velocidad de cuadro (fps)</b>	24p,25p o 50i	24p,25p o 50i	24p,25p o 50i	24p,25p o 50i	24p,25p o 50i
<b>Descripción</b>	Video CD	Similar al PAL	Superior al PAL	Máxima calidad de imagen	Máxima calidad de imagen

<sup>4</sup> Las redes SFN son redes de transmisores que cubren un área determinada, ya sea una ciudad o región, donde todos los transmisores emiten a la misma frecuencia.

En COFDM se modulan los datos en un gran número de portadoras, a baja velocidad, empleando técnicas de FDM (Multiplexaje por División de Frecuencia). El motivo de emplear múltiples portadoras viene precisamente del hecho de que haya niveles altos de multitrayectoria. Las ciudades y centros urbanos podrían ser, en una primera aproximación, el principal mercado para estas redes. La razón es que es en estas grandes aglomeraciones de edificios y estructuras donde los sistemas vía radio podrían cobrar ventaja respecto de los sistemas por cable, que a primera vista aparecerían como sus principales competidores, debido a la gran dificultad económica y logística que supone cablear una ciudad.

En la tabla 2.2.2 se presentan algunas características del sistema DVB que permiten compararlo con el estándar ATSC.

### 2.2.3 Estándar ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)

Este es un estándar desarrollado por ARIB (Association of Radio Industries and Business). La versión de televisión terrestre de este estándar (ISDB-T) es un sistema que fue proyectado no sólo para la transmisión de televisión, sino también para servicios multimedia, por el cual la información digital en forma de video, texto o programas de computador puedan ser integrados. De ahí que su nombre sea muy similar a ISDN, porque ambos permiten que se transmitan juntos múltiples canales de datos.

Este sistema utiliza las ondas de radio terrestres para fortalecer una recepción fiable a través de receptores móviles baratos y compactos, en conjunto con receptores integrados en los hogares.

En lo que concierne a la televisión digital, un receptor puede ser móvil o fijo y con canales de una banda de 6, 7 u 8 MHz, pudiendo ser usado a nivel mundial. Para alentar esto, combina OFDM (utilizada en DVB) con esquemas de modulación digital como QPSK, DQPSK, 16QAM y 64QAM, lo que permite una elevada inmunidad a las interferencias producidas por la multitrayectoria como en DVB-T. Existe para cada ancho de banda disponible tres modos de transmisión que utilizan 1405, 2809 ó 5617 portadoras.

Se usan emisiones de dos anchos de banda, 5.6 MHz y 432 kHz, cada cual destinada a diferentes tipos de servicios. El primer ancho de banda se destina principalmente a emisiones de televisión (HDTV, SDTV, TV interactiva en recepción móvil o fija), en cuanto que la segunda podrá ser utilizada para la transmisión de programas de audio, estando ambos modos sujetos a los mismos tipos de codificación, configuración de trama, etcétera. Consecuentemente, un receptor de 432 kHz puede recibir algunos de los servicios para 5.6 MHz y un receptor de 5.6 MHz puede recibir todos los servicios destinados a los receptores de 432 kHz.

ISDB-T también ofrece la ventaja de una codificación jerárquica de información y de la utilización de una sola frecuencia en redes de varios emisores (SFN) para el mejor aprovechamiento del espectro de radiofrecuencia.

En términos de calidad de sonido, este sistema tiene disponibles 2 canales de sonido estéreo y 5 canales de sonido envolvente, así como programas multilinguaje. Utiliza técnicas de compresión de audio usando MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding), lo cual permite una elevada calidad sonora con una baja velocidad de bits, alcanzando así tasas de compresión de 12:1.

## 2.3 Conversión Analógico/Digital y Digital/Analógico

El uso común y tan extendido de la señalización digital es el resultado de muchos factores:

- La relativa simplicidad del diseño de los circuitos digitales y la facilidad con la que pueden emplearse técnicas de circuitos integrados a los circuitos digitales.
- La continua creciente utilización y disponibilidad de las técnicas de procesamiento digital.



- La habilidad de las señales digitales de ser codificadas para minimizar los efectos del ruido y la interferencia.

Aunque algunas señales de comunicación son digitales por naturaleza –por ejemplo datos de teletipo, salidas de computadoras, señales pulsantes de radar y sonar, etcétera–, muchas otras son analógicas o funciones continuas. Si estas señales se van a transmitir en forma digital, primero deben ser muestreadas en forma periódica y posteriormente convertidas a muestras de amplitud discreta por medio de la cuantización.[16] Se analizará la multicanalización en el tiempo de las señales digitales, sistema en el cual una serie de diferentes fuentes se transmiten por el sistema en forma secuencial.

### 2.3.1. Teorema del Muestreo (PCM)

Considérese una señal  $f(t)$ , continua –analógica–, que se desea digitalizar. Esto se logra al muestrear en primer lugar a  $f(t)$  a una velocidad de  $f_c$  muestras por segundo. Aunque en la práctica, suponemos, este procedimiento de muestreo podría llevarse a cabo por medios electrónicos, conmutando la señal entre encendido y apagado a la velocidad deseada. El proceso de muestreo se ilustra en la figura 2.3.1 en forma conceptual utilizando un interruptor mecánico que gira.

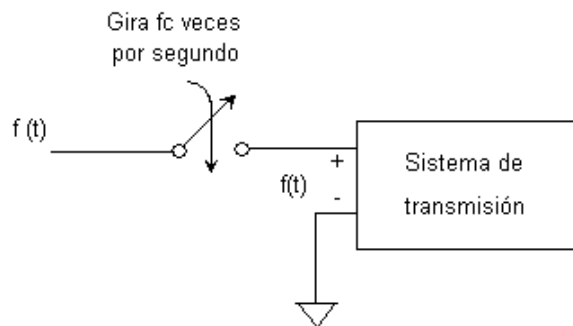


Figura 2.3.1. Muestreo de una señal analógica.

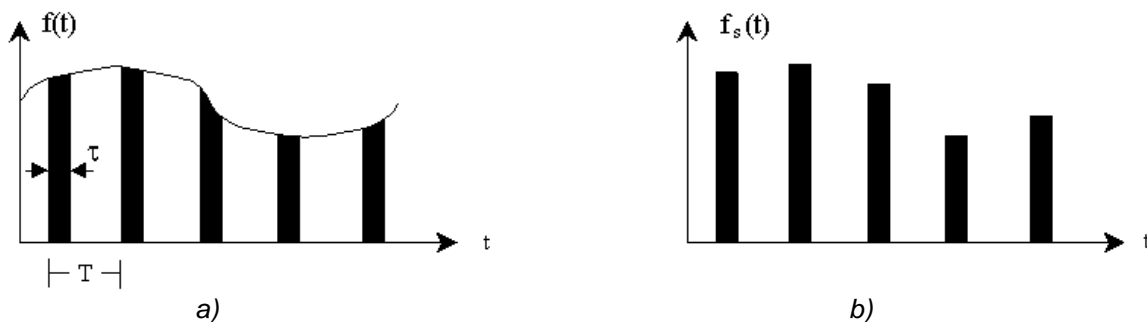


Figura 2.3.2. Proceso de muestreo ( $\tau$ =tiempo de muestreo;  $T = 1/f_c$ ; intervalo de muestreo, a) entrada y b) salida muestreada  $f_s(t)$ .

Supóngase que el interruptor permanece en la línea de  $f(t)$  durante  $\tau$  segundos (figura 2.3.2) cuando se encuentra girando a la velocidad deseada de  $f_c = 1/T$  veces por segundo ( $\tau < T$ ). La salida del interruptor  $f(t)$  es entonces una versión muestreada de  $f(t)$ , los intervalos de muestreo y la salida muestreada  $f_s(t)$ , donde  $f_c$  recibe el nombre de velocidad de muestreo y  $T$  se denomina intervalo de muestreo.

La pregunta que de inmediato surge es ¿qué valor deberá tener la velocidad de muestreo? ¿Habrá alguna limitación en la velocidad a la que se puede muestrear? Podría tenerse la idea intuitiva de que el proceso de muestreo distorsiona irremediablemente la señal  $f(t)$  original. Este proceso se introduce para convertir la señal  $f(t)$  a la forma digital y poder continuar después con el procesamiento y la transmisión. Con seguridad y en algún punto lejano, en la mayor parte de los casos, se deseará recuperar la función  $f(t)$  nuevamente. ¿Se habrá perdido información valiosa en el proceso de muestreo?

La respuesta a esta última pregunta y también las demás, es que con una simple suposición (a la que se llega muy aproximadamente en la práctica), la señal muestreada  $f_s(t)$  contiene toda la información de  $f(t)$ . Además, a partir de  $f_s(t)$  se obtiene  $f(t)$ . En forma única este resultado sorprendente y, no muy obvio, puede demostrarse por medio del uso del análisis de Fourier.

Se supondrá en primer lugar que la señal  $f(t)$  es de banda limitada a  $f_m$  Hertz, lo cual quiere decir que se encuentra absolutamente libre de componentes de frecuencia por encima de  $f = f_m$ . La transformada de Fourier  $F(\omega)$  de este tipo de señal se muestra en la figura 2.3.3. Las señales físicas que se presentan de manera normal no tienen la característica de corte abrupto de frecuencia que se supone en la banda limitada.

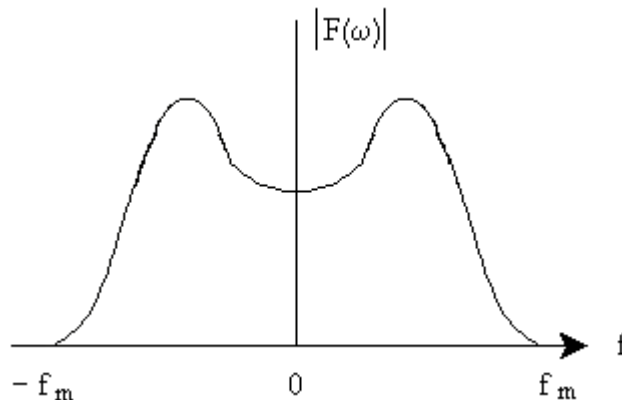


Figura 2.3.3. Señal de banda limitada.

Con excepción de algunos pocos casos especiales, las señales reales contienen componentes de frecuencia para todas las frecuencias. También se sabe que el contenido de frecuencia de las señales decae rápidamente después del ancho de banda definido. Esta aproximación de limitación de banda de las señales reales no introduce un error significativo en el análisis y, por tanto, es la que se considera en realidad. (En la práctica se utilizan filtros pasabajas de corte abrupto, y se introducen con frecuencia antes del proceso de muestreo para asegurar que la condición de limitación de banda se cumpla con la aproximación deseada).

Una función del tiempo  $f(t)$  de banda limitada a  $f_m$  Hz es completamente determinada por valores tomados a intervalos uniformes de  $\frac{1}{2} f_m$  segundos.

Lo anterior quiere decir que la información de la señal  $f(t)$  está contenida en sus muestras tomadas a una velocidad numéricamente igual al doble de su frecuencia máxima  $f_m$ .

Se tiene la señal  $f(t)$  y la señal muestreada  $f_m(t)$ , la señal muestreada  $f_m(t)$  puede considerarse como una secuencia de impulsos ocurriendo en los instantes de muestreo  $0, T, 2T, 3T, \dots$  el valor de cada impulso es igual al valor de la función  $f(t)$  en el tiempo en el cual se aplica el impulso (figura 2.3.4).

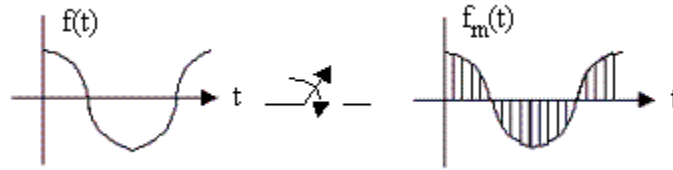


Figura 2.3.4. Operación de muestreo ideal.

El muestrear la señal con un muestreador ideal equivale a multiplicarla por un tren de impulsos unitarios, así:

$$f_s(t) = f(t) \delta_T(t) \quad (2.3.1)$$

$\delta_T(t)$  es el tren de impulsos de periodo  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$  que está definido por:

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

Y se tiene:

$$f_s(t) = f(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nt) \delta(t - nT)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * \omega_0 \delta_{\omega_0}(\omega)$$

donde:

$$\omega_0 \delta_{\omega_0}(\omega) = F(\delta_T(t)) = \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega) * \delta(\omega - n\omega_0)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega - n\omega_0) \quad (2.3.2)$$

De esta ecuación se tiene que el espectro  $F_s(\omega)$  de la señal muestreada, es el espectro  $F(\omega)$  de la señal de información repetido periódicamente cada  $\omega_0$  rad/s (figura 2.3.5).

Para que los espectros  $F(\omega)$  repetidos no se encimen, se requiere que:

$$\omega_0 \geq 2\omega_m \quad \omega_m = 2\pi f_m \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{2\pi}{T} \geq 2(2\pi f_m) \quad \frac{1}{T} \geq 2f_m \quad T \geq \frac{1}{2f_m} \quad (2.3.3)$$

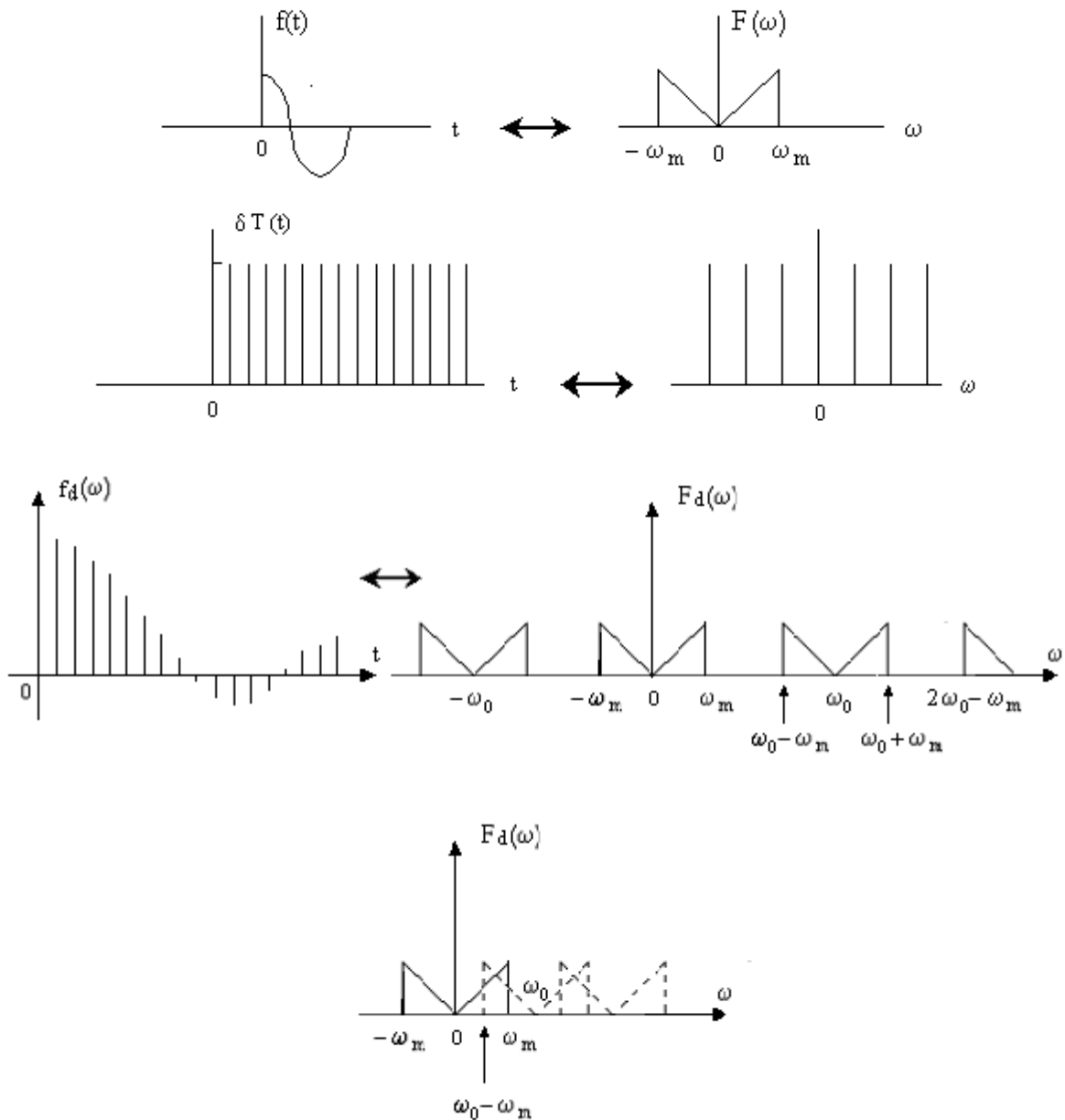


Figura 2.3.5. Muestreo natural de una señal de banda limitada por medio de impulsos.

De 2.3.2 y 2.3.3, se comprueba que la información de  $f(t)$  está contenida en sus muestras, tomadas en un tiempo de separación de  $\frac{1}{2f_m}$  segundos.

La información puede ser recuperada de la señal muestreada por medio de un filtro pasobajas si el periodo de muestreo es menor o igual a  $\frac{1}{2f_m}$  segundos. Al periodo de muestreo

$$T \leq \frac{1}{2f_m} \text{ [segundos]} \text{ se le llama intervalo de Nyquist. [31]}$$

Si  $\omega_0 < 2\omega_m$  hay interferencia entre los espectros  $F_d(\omega)$ , por lo que no es posible extraer el espectro  $F(\beta)$  de  $F_d(\omega)$  con un filtro.

$$T > \frac{1}{2f_m} \tag{2.3.4}$$

### 2.3.2. Modulación de amplitud de pulsos (PAM, Pulse Amplitude Modulation)

Un muestreador práctico toma la muestra de la señal no instantáneamente, sino en un tiempo finito  $d$ .

En estas condiciones, se debe concebir el proceso de muestreo como la multiplicación de la señal de información  $f(t)$  por un tren de pulsos rectangulares de periodo  $T$  y de duración del pulso  $d$  en lugar de un tren de impulsos, como se muestra en la figura 2.3.6.

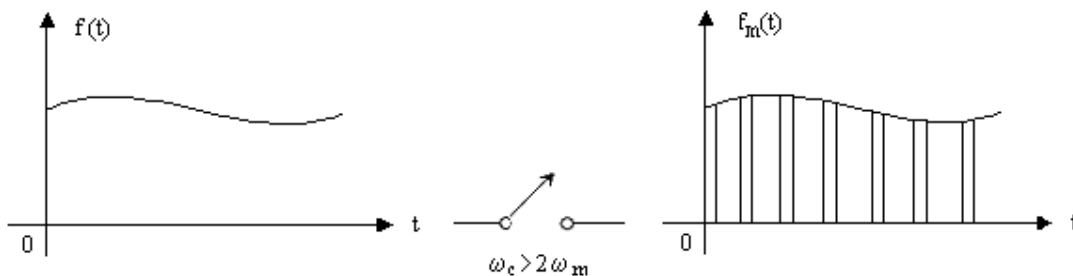


Figura 2.3.6 Muestreador práctico.

Si  $m(t)$  es el tren de pulsos rectangulares la señal muestreada  $f_m(t)$  es expresada por la ecuación:

$$f_m(t) = f(t)m(t) \qquad f(t) \text{ limitada a } f_m \text{ Hertz}$$

En el dominio de la frecuencia:

$$f_m(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * M(\omega)$$

$$M(\omega) = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} Mn \delta(\omega - n\omega_c)$$

$$Mn = \frac{Ad}{T} Sa\left[\frac{n\omega_c d}{2}\right]$$

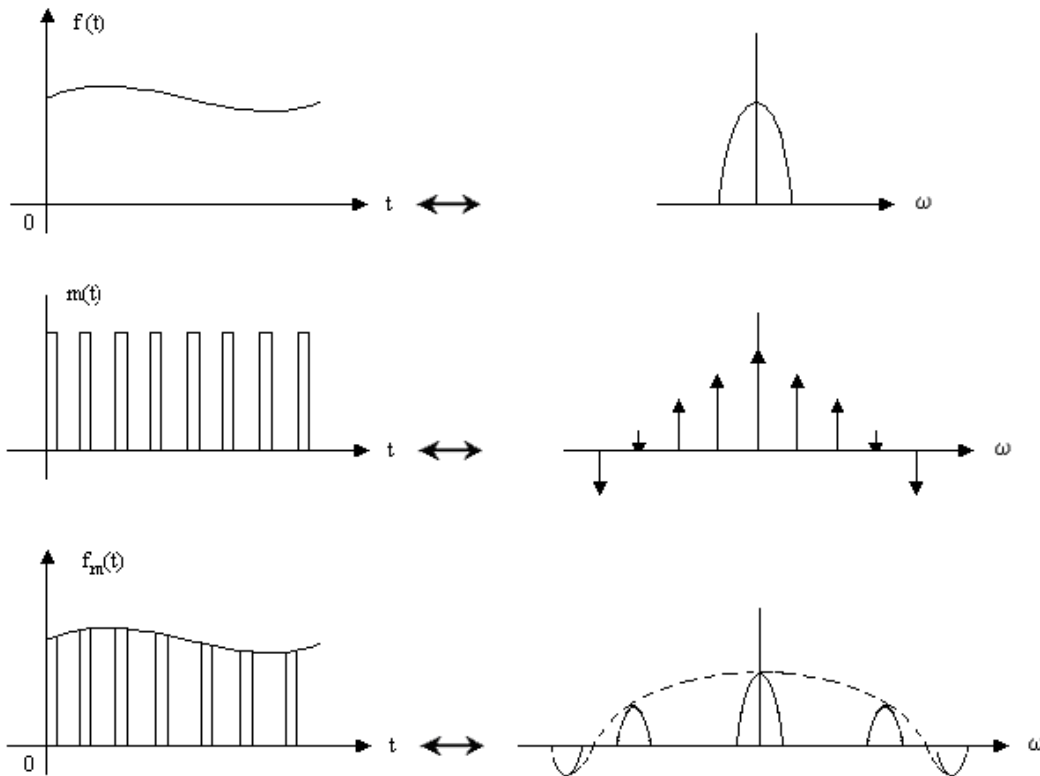


Figura 2.3.7 Muestreo natural de una señal de banda limitada a través de pulsos rectangulares de duración  $d$ .

Comparando  $F_d(\omega)$  con  $F_m(\omega)$  se ve que ambos consisten de  $F(\omega)$  repetidos periódicamente. Sin embargo, en  $F_m(\omega)$  la amplitud del espectro va disminuyendo conforme aumenta  $\omega$ .

La amplitud de los pulsos de  $m(t)$  está determinada por la señal de información  $f(t)$ , por lo que se dice que la señal de pulsos  $m(t)$  ha sido modulada en amplitud por  $f(t)$ . Como en este caso la señal portadora es un tren de pulsos, el proceso de modulación se le llama modulación por amplitud de pulsos.

De las figuras 2.3.8 y 2.3.5, la señal de información puede recuperarse de la señal PAM, sólo si la frecuencia es

$$\omega_0 > 2\omega_m \quad \text{luego} \quad \frac{2\pi}{T} > 2(2\pi f_m) \quad \therefore \quad T \geq \frac{1}{2f_m}$$

Éste es el mismo resultado obtenido considerando un muestreador ideal.

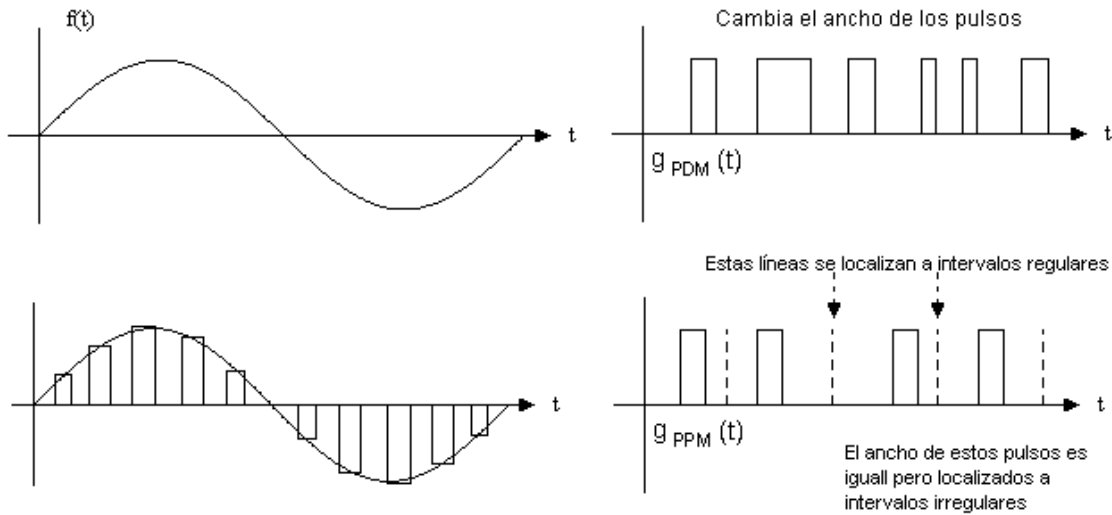


Figura 2.3.8. Tipos de modulación discreta.

### 2.3.3. Modulación de pulsos codificados (PCM, Pulse-Code Modulation)

En este sistema se requieren tres etapas de procesamiento de la señal de información: muestreo, cuantización y codificación (figura 2.3.9).

El muestreo se realiza de acuerdo con el teorema ya presentado, obteniéndose a la salida una señal PAM discreta en tiempo pero cuya amplitud (amplitud de las muestras) puede tomar cualquier valor dependiendo del voltaje de la señal de información en el instante de muestreo.

La señal PAM es convertida en una señal digital mediante la cuantización y codificación del convertidor analógico-digital.

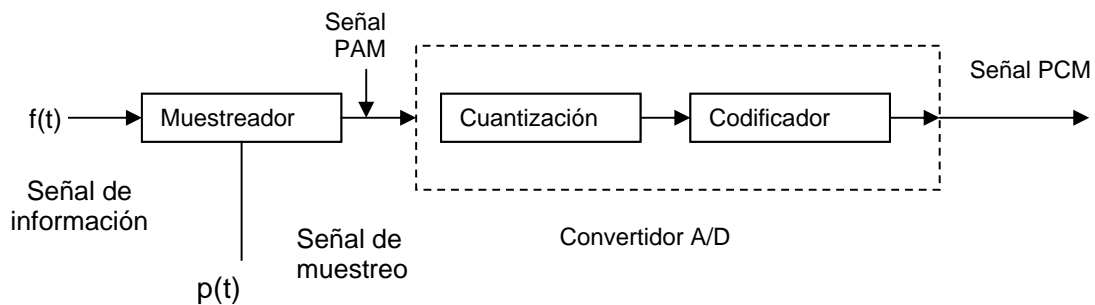


Figura 2.3.9. Proceso para la señal PCM.

#### 2.3.3.1. Cuantización

Ésta consiste en aproximar la amplitud de los pulsos de la señal PAM a niveles discretos especificados, como se muestra en la gráfica de figura 2.3.10.

En la señal PAM los pulsos modulados en amplitud pueden tomar cualquier valor, dependiendo de la amplitud de la señal de información en el instante de muestreo. Sin embargo, en el receptor (debido al ruido) es posible saber con precisión qué valor ha sido transmitido.

Por eso si los pulsos de la señal PAM son aproximados a un número finito de valores, y si la separación entre estos valores es grande en comparación con los niveles de amplitud del ruido, el receptor podrá distinguir qué nivel le ha sido transmitido.

La señal PAM cuantizada podría transmitirse directamente si el número de niveles de cuantización fuera pequeño.

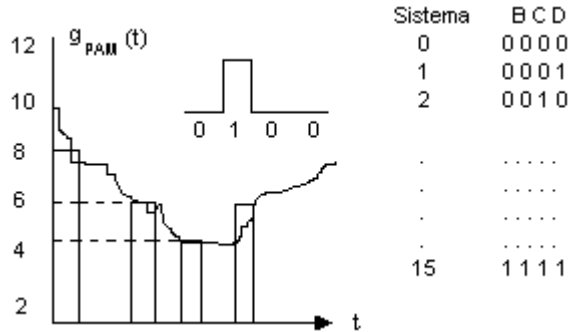


Figura 2.3.10. Cuantización y codificación de una señal continua en el tiempo.

### 2.3.3.2. Codificación

La codificación es el proceso mediante el cual un pulso que puede tomar  $m$  valores diferentes (de los  $m$  pasos de cuantización) es representado por una serie de pulsos que pueden tomar (que en el caso general únicamente puede tomar dos valores, cero o uno).

Se comete un error al aproximar los pulsos al nivel más próximo. A esto se le llama ruido de cuantización y se disminuye aumentando los niveles de cuantización.

### 2.3.3.3. Proceso de muestreo

El proceso se realiza con un tren de pulsos y teniendo cerrado el interruptor un tiempo  $d$  a intervalos de  $\frac{1}{2f_m}$  segundos. Conforme  $d$  tiende a cero, el pulso se aproxima a un impulso.

Sin embargo, la energía del pulso de muestra de amplitud proporcional al voltaje de la señal en el instante de muestreo, también tiende a cero, lo que lo hace propenso a ser afectado por el ruido. Con el fin de evitar este problema, se retiene el valor de la muestra durante toda la

duración del intervalo de muestreo ( $\frac{1}{2f_m}$  segundos) en lugar de tomar una muestra de duración sumamente pequeña. Esto se hace almacenando el valor muestreado en un condensador mediante el circuito siguiente, conocido como de muestreo y retención (figura 2.3.11).



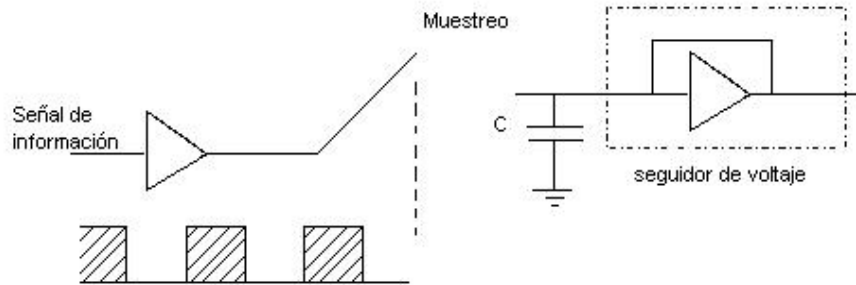


Figura 2.3.11. Muestreo y retención de una señal continua.

En el momento en que el interruptor de muestreo se cierra, el condensador C se carga rápidamente al valor de la muestra tomada (figura 2.3.12). Cuando el interruptor se abre, C queda aislado de variaciones de la señal de entrada, el seguidor de voltaje del amplificador operacional posee alta impedancia de entrada, lo que ocasiona que la fuga de carga durante el periodo de retención sea muy pequeña y la caída de voltaje del valor de la muestra tomada lo sea también.

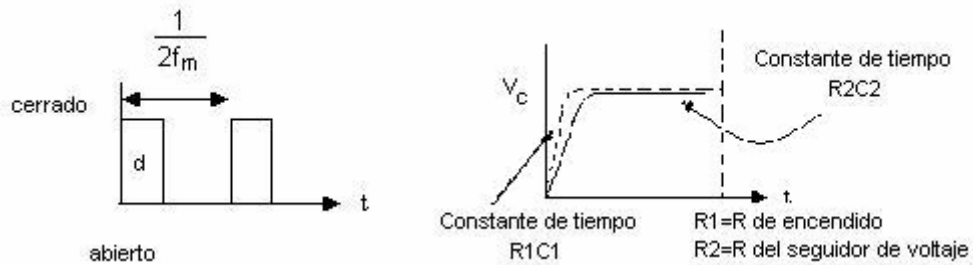


Figura 2.3.12. Tiempo de carga del condensador como función de la capacitancia y resistencia eléctrica.

#### 2.3.3.4. Proceso de cuantización y codificación

El ruido de cuantización, definido como la diferencia entre las muestras PAM y las muestras cuantizadas, es la principal fuente de distorsión en un sistema PCM. Este ruido podría ser reducido aumentando el número de niveles de cuantización, lo cual implica emplear más pulsos binarios para representar cada nivel de cuantización y, por consiguiente, aumentar la frecuencia de pulsos por segundo transmitidos.

Supóngase un sistema PCM con 64 niveles de cuantización, a cuyo valor debe redondearse cada muestra tomada. Para codificar cada muestra de 64 valores posibles son necesarios seis pulsos binarios ( $2^6 = 64$ ); si la señal a muestrear tiene un ancho de banda de 4,000 Hertz, de acuerdo al Teorema de Muestreo, deben tomarse 8,000 muestras por segundo y puesto que por cada muestra se transmiten seis pulsos binarios, entonces la velocidad de transmisión sobre la línea será de:

$$8,000 \frac{\text{muestras}}{\text{segundos}} \times 6 \frac{\text{pulsos binarios}}{\text{muestra}} = 48,000 \frac{\text{pulsos}}{\text{segundo}}$$

Si ahora se toman 128 niveles, se necesitarán siete pulsos para codificar cada muestra y se reduce el error de cuantización  $2^7 = 128$ , 56,000 pulsos/segundos. En forma práctica se requiere tanto ancho de banda en Hertz de un canal como pulsos por segundo se van a transmitir. Así, se requerirían 48 kHz y 56 kHz de ancho de banda, por lo que aumentar los niveles de cuantización implica aumentar el ancho de banda.

Otro método de reducir el ruido de cuantización es variar el tamaño de los intervalos de cuantización. Con el fin de reducir el ruido de cuantización, sin aumentar el número de niveles de cuantización, la señal de entrada es sometida a un proceso de compresión antes de ser codificada. Mediante este proceso se da más ganancia a las amplitudes pequeñas que a las grandes (figura 2.3.13). En el receptor las señales pasan por un proceso de expansión después de ser codificadas, lo cual permite tener a la señal en su forma original.

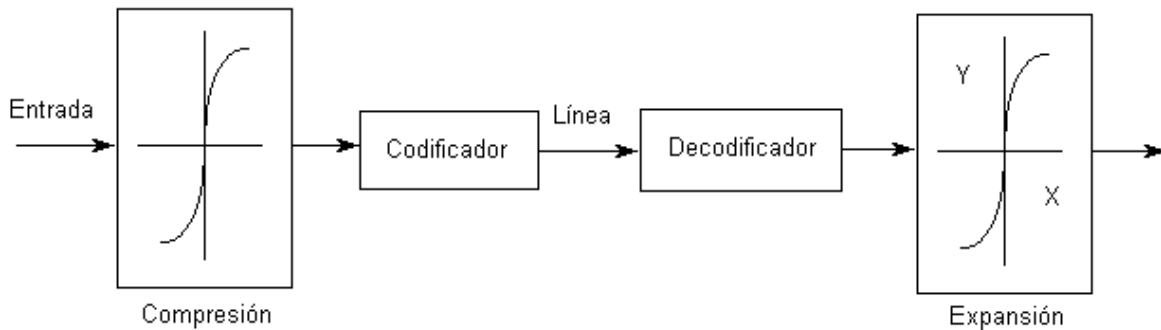


Figura 2.3.13. Característica de entrada y salida de un compresor de señales.

Las funciones de compresión y expansión son logarítmicas del tipo siguiente:

$$y = \frac{Ax}{(1 + \log A)} \quad 0 \leq x \leq \frac{1}{A}$$

En la práctica los sistemas PCM construyen la curva logarítmica con base en segmentos lineales como lo muestra la figura 2.3.14, en la que se han utilizado 13 segmentos para aproximar la ley logarítmica de la ecuación.

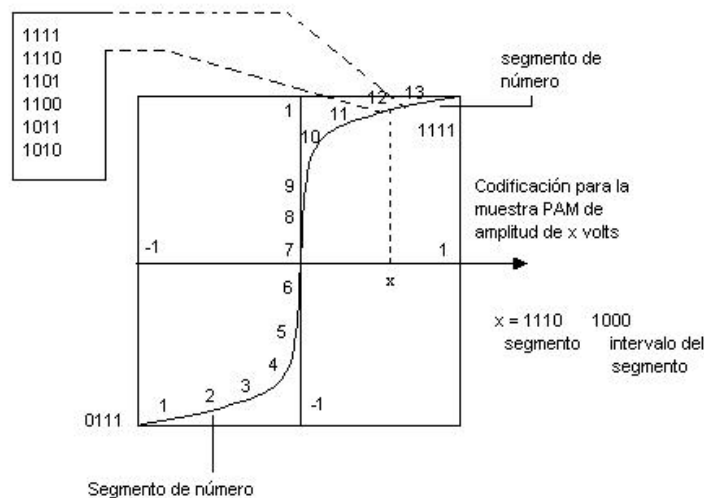


Figura 2.3.14. Curva logarítmica.

Si queremos obtener un código de 256 niveles de cuantización o de ocho bits, el proceso de codificación es como sigue:

- a) El primer bit de la serie de ocho representando cada muestra, indica el signo de la amplitud de la muestra:
 

bit 1	signo positivo
bit 0	signo negativo
- b) Los siguientes tres bits identifican el segmento, que va del 000 a 111.
- c) Los cuatro últimos bits indican dentro de cuál de los 16 posibles valores iguales, en que se divide cada segmento, cae la amplitud de muestra.

### 2.3.4. Codificación de línea

La señal que sale del convertidor A/D (Análogo/Digital) es del tipo unipolar sin retorno a cero (NRZ) con valores normales de 5 volts para un 1 y cero volts para un 0 (figura 2.3.15). Se dice que la señal es sin retorno a cero, porque entre unos consecutivos no hay retorno a cero de la señal para esperar otro 1.

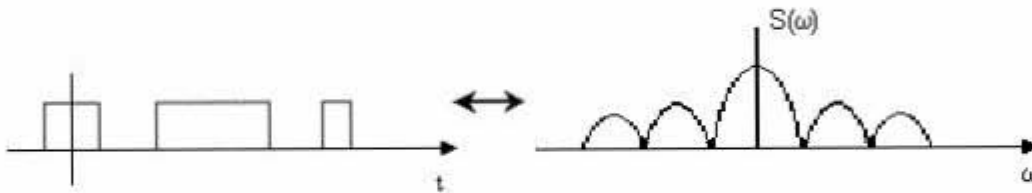


Figura 2.3.15. Señal unipolar NRZ y su espectro de densidad de potencia.

La potencia de la señal unipolar NRZ está concentrada alrededor de la componente de corriente directa (DC), esto lo hace inadecuada para transmisión, ya que la componente de DC no lleva información y la potencia que posee se desperdicia. Al transmitir la señal unipolar NRZ a través de líneas telefónicas, que tienen transferencia de acoplamiento, se distorsiona al no pasar la componente de DC a través de esos acoplamientos, por lo que la señal NRZ que sale del convertidor A/D pasa por un proceso de codificación de línea, pero primero la señal unipolar RZ. En la señal unipolar RZ los 1 tienen 50 por ciento de ciclo de trabajo o de duración con respecto al que tienen en la señal NRZ (figura 2.3.16).

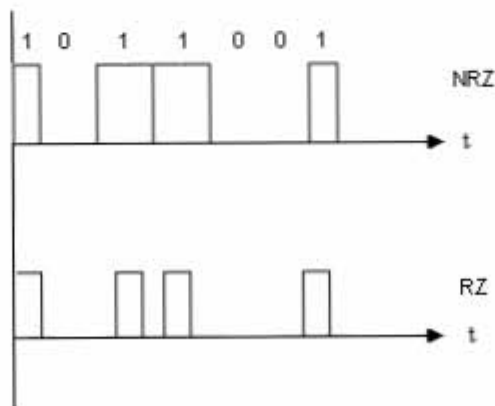


Figura 2.3.16. Señales NRZ y RZ para representar datos binarios.

### 2.3.4.1. Código AMI (Alternate Mark Inversion)

En el código AMI (Inversión Alternada de Marcas) los 0 son codificados como ausencia de pulso y los 1 son codificados alternadamente como pulsos negativos o positivos. Es decir este código de línea recurre a tres niveles de amplitud, como se indica en la figura 2.3.17.

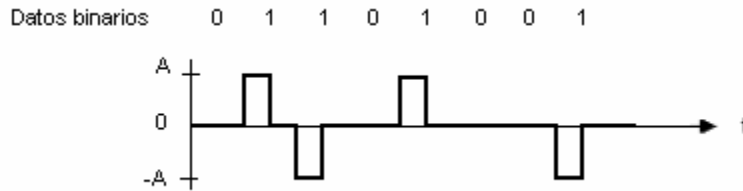


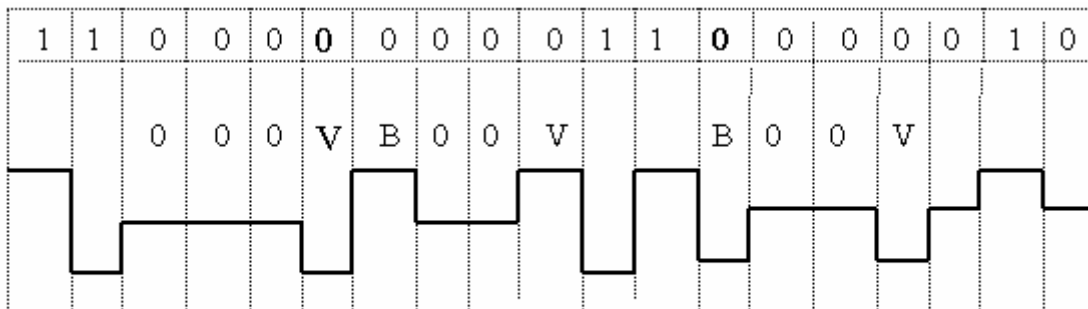
Figura 2.3.17. Representación gráfica del Código AMI.

De modo específico, se utilizan pulsos positivo y negativo de igual amplitud (es decir, +A y -A) de modo alternativo con el símbolo 1, teniendo cada pulso la mitad del ancho del símbolo; nunca se usa un pulso para el símbolo 0. Una propiedad útil de la transmisión de estas señales de tipo bipolar con retorno a cero es que el espectro de la potencia de la señal transmitida no tiene componente de DC y componentes de baja frecuencia relativamente insignificantes para el caso cuando ocurren con igual probabilidad los símbolos 1 y 0.

### 2.3.4.2. Código HDB3 (High Density Binary 3)

Como la base de tiempo (sincronía) para los decodificadores es extraída de las transiciones de unos y ceros o viceversa, en el código AMI existen problemas de sincronía cuando hay una gran ausencia de ceros a transmitirse; como hay transiciones no hay base de tiempo y surge el problema de sincronía entre transmisor y receptor.

Si en el código HDB3 hay secuencia de ceros, el segundo y tercer cero de la secuencia son transmitidos sin cambio, pero el cuarto cero es transmitido a la línea con la misma polaridad con la que fue enviada la marca inmediata anterior. En la figura 2.3.18 puede apreciarse este mecanismo.



**B: Señal válida.**

**V: Violación.**

Figura 2.3.18. Lógica del Código HDB3.

### 2.3.5 Recuperación de la señal de información $f(t)$ de la señal PCM

El circuito de detección (figura 2.3.19a) identifica la magnitud de cada pulso binario (pulso o no-pulso). Si ésta es mayor que un cierto nivel de umbral  $B$ , decidirá que ha sido transmitido un uno, si es menor decidirá que ha transmitido un cero (figura 2.3.19b).

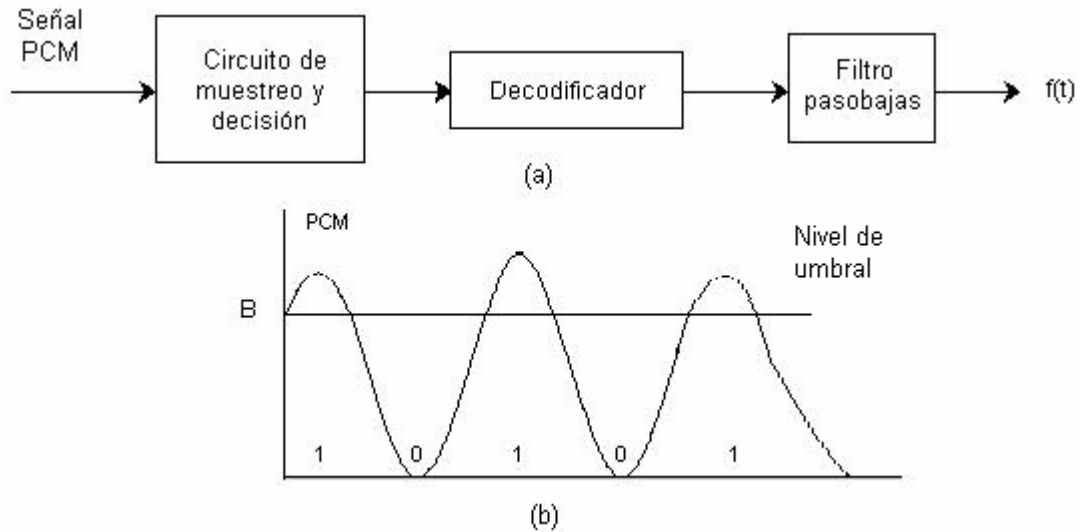


Figura 2.3.19. a) Detector de pulsos binarios, (b) umbral de detección

A la salida del circuito de detección se tiene una señal limpia, sin ruido, aunque con algún pulso binario detectado erróneamente debido al ruido (1 en 100,000). Esta señal es codificada, obteniéndose limpia con un filtro pasobajas para tener la señal  $f(t)$ .

### 2.3.6 Convertidor Digital/Analógico (D/A)

En un convertidor D/A básico, usando divisor de tensión (figura 2.3.20) y suponiendo que un 0 se representa por 0 volts y un 1 por el nivel  $V_1$  volts, entonces si la entrada es 0001 el voltaje en ABC es 0 volts y el voltaje en D es  $+ V_1$  volts.

$$V_{sal} = \frac{\frac{1}{\frac{2}{R} + \frac{4}{R} + \frac{8}{R}}}{\frac{1}{\frac{2}{R} + \frac{4}{R} + \frac{8}{R}} + R} V_1 = \frac{R}{15R} V_1 = \frac{1}{15} V_1$$

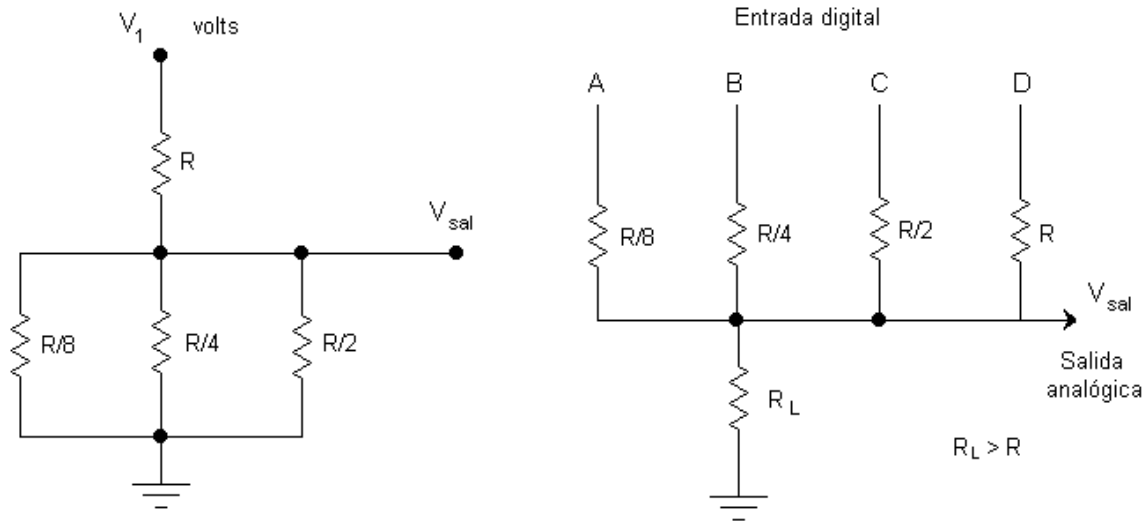


Figura 2.3.20. Convertidor Digital/Analógico.

De acuerdo con lo anterior, cuando la entrada sea 0010 la salida será  $\frac{2}{15} V_1$  y cuando sea 011  $V_{sal} = \frac{3}{15} V_1$ , así la entrada digital será convertida en analógica.

## 2.4 Técnicas de compresión de video y de imágenes

En la televisión de tecnología de vanguardia una señal de video digitalizada usualmente emplea una velocidad de 166 Mbit/s. Si esta velocidad de datos fuera transmitida sin ser comprimida se requeriría un ancho de banda más grande que para el tradicional proceso analógico. Esto justifica el uso de las técnicas de compresión de datos que han sido indispensables para el desarrollo de un estándar de transmisión digital para señales de televisión.

Como ocurre con las señales de audio, una simple reducción en la redundancia arrojaría en promedio sólo un pequeño factor de compresión. Con la ayuda de una pequeña reducción en la redundancia que toma en cuenta las características del sistema visual humano (filtrando los contenidos de todas las imágenes imperceptibles) se pueden obtener factores de reducción más altos (sin cambio en la calidad subjetiva de la imagen), lo cual disminuye los requerimientos de ancho de banda muy por abajo de aquellos para la transmisión análoga de una calidad similar, volviendo a este procedimiento comercialmente interesante.

Una serie de estándares han sido establecidos para la codificación de imágenes, como el mostrado en la tabla 2.4.1 en orden de aparición cronológica.

Tabla 2.4.1. Estándares internacionales de codificación de imágenes.

<b>Estándar</b>	<b>Nombre cotidiano</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Velocidad de datos</b>
ISO/IEC IS 10918	JPEG	Almacenamiento de fotografías; JPEG de video: aplicaciones de estudio.	No definido
ITU-T H.261	p64	ISDN, videoconferencia.	P * 64 kbits/s
ISO/IEC IS 11172	MPEG-1	CD-ROM, multimedia.	Arriba de 1.5 Mbits/s
ISO/IEC IS 13818	MPEG-2	Transmisiones de televisión, aplicaciones de estudio.	<u>MP@ML</u> : arriba de 15 Mbits/s 4:2:2@ML: arribade 50 Mbits/s

### 2.4.1 El estándar JPEG

El conocido estándar JPEG (Joint Photographic Experts Group) cuyo nombre oficial es ISO/IEC IS 10918 fue creado para el almacenamiento eficiente de imágenes fijas. Con la baja de precios de los circuitos integrados se pensó en evolucionar y desarrollar este patrón para imágenes en movimiento, sin embargo, este “Motion JPEG” (M-JPEG) no fue estandarizado y no garantiza compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

El estándar ITU-T H.261, también conocido en algunas partes de América como “p64”, fue concebido desde el inicio para la codificación de imágenes en movimiento. Éste fue optimizado para telefonía visual y aplicaciones similares, que pueden ser ofrecidas a través de redes ISDN de banda angosta en velocidades de 64 kbits/s o múltiplos enteros de ésta.

Con el MPEG-1 ISO/IEC 11172 una técnica fue desarrollada y a su vez concebida para aplicaciones en el campo de los multimedios donde sólo una capacidad de almacenamiento limitada o tasa de datos es posible (particularmente para CD-ROMs) y por lo tanto los requisitos de calidad tienen que ser modestos. Los compromisos que tenían que ser alcanzados en esta materia incluyen la limitación del formato SIF (la mitad de la resolución espacial comparada con la resolución ITU-R BT.601), muestreo progresivo y formato de crominancia 4:2:0.

La extensión de MPEG-1 en la dirección de más alta calidad y, conectado con éste, velocidad de datos más alta, es el estándar MPEG-2 (ISO/IEC IS 13818), que permite la transmisión y almacenamiento de señales de televisión basado en escaneo entrelazado (interlaced scanning).

Una de las características que tienen en común los estándares de televisión digital es que usan el mismo esquema de compresión y la capa de transporte para su señal. Este esquema es conocido como MPEG-2. Dicho estándar presenta mejoras con respecto al MPEG-1, principalmente en la tasa de codificación y en el manejo del modo de video, por ejemplo, MPEG-1 no soporta el entrelazamiento de líneas de video.

El codificador MPEG es asimétrico. Esta característica es designada cuando el codificador es más complejo que el decodificador. El codificador necesita ser algorítmico o

adaptable, mientras que el decodificador, sólo realizaría un conjunto de tareas fijas que son determinadas por el codificador. Esto tiene muchas ventajas en aplicaciones como la transmisión abierta (broadcasting), ya que hay muy pocos codificadores complejos que son caros, en cambio hay demasiados decodificadores que son baratos.

### 2.4.2 Estándar MPEG

El grupo de expertos en imágenes en movimiento (MPEG) fue formado desde principios de los 90 con el propósito de crear un estándar para el manejo de secuencias de imágenes (video) a una tasa de bits baja.

El primer éxito que tuvieron fue permitir el almacenamiento de video y sonido estéreo, el cual implicó una tasa máxima de 1.5 Mbps. Esto se debió principalmente, al desarrollo de la teoría de la información y la codificación, donde lo importante era explotar aquellas características que tiene una imagen, por ejemplo la redundancia.

Tal y como se explotan las características de redundancia de las imágenes fijas en el esquema JPEG, la codificación de las imágenes en movimiento permite explotar de manera importante la redundancia temporal entre cuadros sucesivos. Al reducir ésta, la compresión de los datos de la imagen se vuelve más eficiente.

A pesar de que el término compresión de datos ha sido encasillado en la era digital, la compresión de una señal puede incluso considerarse de forma analógica.

Esta fue una de las características que consideró el MPEG para lograr tasas altas de compresión en una señal de video.

De acuerdo con el teorema de muestreo y con el estudio de los tipos de señales que conforman el video (luma y crominancia), se estableció que las componentes de crominancia pueden perder detalle. Esto ayuda a que la cantidad de muestras sea menor, implicando que el ancho de banda para transportar los valores de estas muestras, se reduzca. Lo importante es que con el submuestreo de las señales de crominancia, la calidad del video es bastante aceptable (como consecuencia de la agudeza visual humana).

De esta forma se obtienen los esquemas denominados 4:4:4 (sin submuestreo) a 4:2:2 (donde las componentes de crominancia son submuestreadas por un factor de 2 de manera horizontal, con respecto a la componente luma), 4:2:0 (donde el submuestreo es también por un factor de 2 horizontalmente y verticalmente) o incluso 4:1:1 (donde ahora el factor es de 4 sólo en el sentido horizontal).

Submuestrear de manera horizontal o vertical, se refiere a dejar tantas muestras (de las que había originalmente) por línea (horizontal) o por columna (vertical) de la forma rectangular de una imagen.

El resultado de considerar el submuestreo de las componentes de la señal de video para el MPEG-1, fue la determinación del formato conocido como SIF (source intermediate format). Este formato denota la exploración (scanning) de manera progresiva con 4:2:0 de submuestreo de crominancia, teniendo 352 x 288 a 25 cuadros por segundo y 352 x 240 a 29.97 cuadros por segundo.

Por otro lado, desde su publicación en 1992, el estándar MPEG-1 se distingue por tres partes principales que lo conforman.

1. Sistema MPEG-1 (ISO/IEC 11172-1), el cual define la estructura de cómo se multiplexan los paquetes del flujo de datos (stream).
2. Video MPEG-1 (ISO/IEC 11172-2), que define la codificación del video.
3. Audio MPEG-1 (ISO/IEC 11172-3), que define la codificación del audio.

En ese entonces no se consideró una posible aplicación para transmisión de la señal codificada, de esta forma el MPEG-1 no se usa para esos fines, ya que una desventaja importante es que no es posible codificar cuadros entrelazados, además de no haber considerado otros factores que se requieren en la HDTV, como las resoluciones espaciales que se manejan. De esta forma, el grupo MPEG propuso un estándar que es optimizado para las



aplicaciones de transmisión (broadcasting). Este estándar internacional es conocido como MPEG-2 y así como su antecesor, también está formado por tres partes principales (publicadas en noviembre de 1994).

1. Sistema MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1), que define la forma de empaquetar el flujo de datos (streams).
2. Video MPEG-2 (ISO/IEC 13818-2), el cual define la codificación del video.
3. Audio MPEG-2 (ISO/IEC 13818-3), que define la codificación del audio.

La compresión del audio usado junto con la compresión del video en el MPEG-2, se puede realizar con varios esquemas, ya sea por medio de un algoritmo conocido como MUSICAM (MPEG-2 Layer II) o Dolby AC-3. Así como en el video, la compresión del audio también se realiza considerando factores relacionados con información de la señal que el ser humano no puede percibir. En el caso del video este factor es psico-visual, lógicamente para el audio es psico-acústico. A grandes rasgos, la compresión del audio se realiza de tal forma que las frecuencias que el oído humano no alcanza a percibir se eliminan. Para esto también se considera una transformación de la señal y un modelo acústico adaptado a los humanos. La señal comprimida de audio forma parte también del flujo de datos codificados para el video, se transmiten bajo la normas de la capa de transporte del estándar MPEG-2.

Debido al diseño y a las características que ofrece el MPEG-2, ha sido considerado como el formato estándar para compresión de video y como esquema de la capa de transporte para los dos principales sistemas de televisión digital terrestre, el ATSC-8VSB y el DVB-T-COFDM.

#### 2.4.2.1 Principios del MPEG

Uno de los principales propósitos del MPEG-1 en sus inicios, fue alcanzar una calidad media de video a una tasa constante de bits de 1.5 Mbps, para almacenar audio y video en un CD-ROM. Esto porque el video utiliza una tasa de 1.15 Mbps y el audio y otros datos que requiere el sistema utilizan 350 kb/s. Aún así el estándar es flexible en cuanto al ajuste de parámetros para poder seleccionar la tasa de compresión y calidad requerida.

Básicamente la codificación del video utiliza los mismos principios que la compresión con pérdidas de imágenes fijas (JPEG), sólo que se le han añadido nuevas técnicas, como aquellas para explotar la correlación que existe entre cuadros sucesivos.

Estas técnicas conocidas como "predicción con compensación de movimiento", consisten en deducir partes de los cuadros de una secuencia, incluso de antes y después, incrementando una mínima parte de información, la cual representa las diferencias entre los cuadros. De esta forma, el codificador MPEG requiere de un estimador de movimiento, el cual determina, por ser la parte más compleja del codificador, el desempeño eficiente.

Un aspecto importante de la decodificación es que tiene que ser acompañada de un retraso en el procesamiento en forma aceptable y constante, manteniendo la idea del "tiempo real". Para lograrlo, regularmente se requiere de hardware dedicado. En cambio la codificación puede ser realizada en más pasos, donde se puede dejar un poco de lado la idea de "tiempo real", no así la calidad del video. Sin embargo, la idea de codificación en "tiempo real" es un factor importante para la televisión digital ya que en transmisiones en vivo es importante que la codificación no tome mucho tiempo.

Regularmente un codificador hace una compensación entre rapidez, tasa de compresión, complejidad y calidad de la imagen. Además el tiempo de sincronización y el tiempo de acceso aleatorio a una secuencia tienen que mantenerse dentro de un límite aceptable (sin exceder los 0.5 s). Esto limita el número de imágenes que son dependientes de la primera y es común que se encuentre entre 10 y 12 para un sistema que opera a 25 imágenes/s.

### 2.4.2.2 Tipos de imágenes MPEG

Para codificar video con el MPEG, el codificador hace una separación de los cuadros que pertenecen a una secuencia y realiza una asignación de un tipo de imagen para cada cuadro a codificar. Esto quiere decir que un codificador de video no comprime cada cuadro de la imagen por separado, sino que los codifica considerando una forma distinta, según se haya determinado previamente. Se codifican usando tres tipos de imágenes principalmente, estos son:

I (intra): este tipo de imágenes son codificadas sin considerar otras imágenes de referencia, esto significa que contienen la información necesaria para la reconstrucción por medio del decodificador. Esto hace que sean muy importantes y son un punto de entrada esencial en una secuencia de video. La tasa de compresión lograda es relativamente baja.

P (predicción): estas son codificadas con la ayuda de una tipo I o de este mismo tipo, usando una técnica de “predicción de movimiento compensado”.

Las imágenes P pueden ser usadas como la base de siguientes a ser codificadas, pero debido a que la compensación del movimiento no es perfecta, no es posible extender y codificar demasiadas imágenes P entre dos del tipo I. La tasa de compresión de las imágenes P es considerablemente más alta que las I.

B (bidireccional): son codificadas por interpolación bidireccional, entre las I o las P; y puede preceder o seguir de cualquiera de ellas. Debido a que este tipo no es usado para codificar imágenes consecutivas, no propaga el error, obteniendo así una tasa alta de compresión.

Cada una de las imágenes de una secuencia de video, es codificada ya sea considerando sólo I o I y P o I, P y B. La forma en la que será asignado cada uno de los tipos a las imágenes a ser codificadas, dependerá de los parámetros M y N que serán fijados previamente, donde:

M es la distancia (en número de imágenes) entre dos imágenes P sucesivas.

N es la distancia entre dos imágenes I sucesivas, definiendo lo que se conoce como “Grupo de imágenes (GOP)”.

Regularmente se usan los parámetros  $M = 3$  y  $N = 12$  (figura 2.4.1), ya que éstos proporcionan una calidad de video aceptable en un tiempo de acceso aleatorio razonable (menor a 0,5s), con una tasa de bits de 1,15 Mbps. Con esos parámetros una secuencia de video se codifica teniendo: el 8.33% de imágenes I, el 25% de imágenes P y el 66% corresponde a imágenes del tipo B.

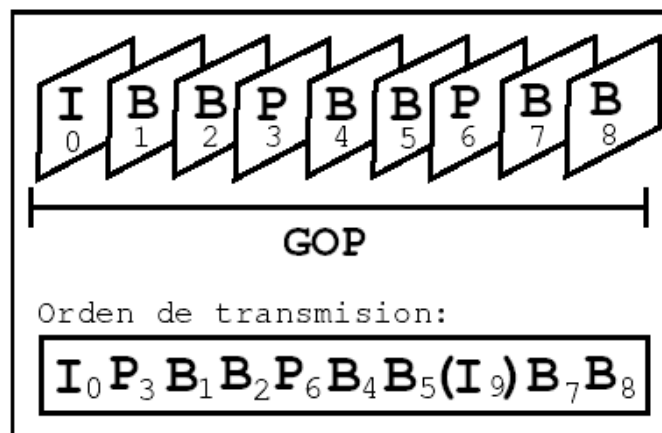


Figura 2.4.1. Secuencia de imágenes GOP

### 2.4.2.3 Capas del MPEG

El MPEG define una jerarquía de capas en una secuencia de video, las cuales tienen funciones específicas en el proceso de codificación. Las capas que conforman el MPEG son:

- secuencia: esta es la capa más alta y define el contexto válido para la secuencia entera (parámetros básicos, etcétera)
- GOP: esta es la capa que determina el acceso aleatorio a la secuencia, la cual comienza con una imagen tipo I
- Imagen (picture): esta es la unidad elemental de despliegue, la cual puede ser cualquiera de los tres tipos (I, P o B)
- Slice: esta es la capa destinada al direccionamiento “intra-frames” y de resincronización, para efectos de recuperación de errores. está definida por un conjunto de macrobloques contiguos. El tamaño de un slice puede variar desde un macrobloque hasta la imagen completa, pero regularmente está formado por un renglón de macrobloques.
- Macrobloques: esta es usada para la estimación/compensación de movimiento. Un macrobloque tiene un tamaño de 16 x 16 píxeles y está compuesto por cuatro bloques de luminancia y dos bloques de crominancia (uno para Cr y otro para Cb).
- Bloque: tal como en el caso del JPEG, una imagen es dividida en bloques de 8 x 8 píxeles. En esta capa es donde se realiza el proceso de transformación (DCT).

En la figura 2.4.2 se puede observar un diagrama con las capas mencionadas anteriormente.

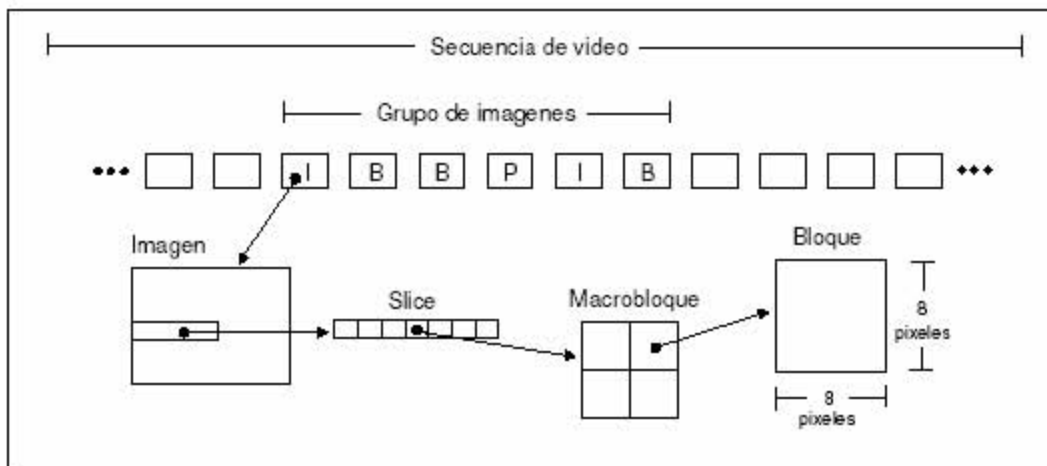


Figura 2.4.2. Capas que conforman al MPEG.

### 2.4.2.4 Predicción, estimación de movimiento y compensación

La estimación de movimiento consiste en definir un vector de movimiento que asegure la correlación entre una zona de la imagen que llega (en una segunda imagen) y una zona de “partida” (de una de referencia o primer imagen), usando una técnica conocida como block matching (“emparejamiento de bloques”). Esto se realiza a nivel de macrobloques, moviendo uno de la imagen actual dentro de una ventana de búsqueda desde la imagen anterior, comparándola con todos los posibles macrobloques de la ventana para encontrar el que sea

más similar. La diferencia de posición entre los macrobloques más parecidos da un vector de movimiento, el cual será aplicado a los componentes Y, Cb, Cr del macrobloque.

Cuando se comparan dos imágenes, una P y la otra I, o dos del tipo P, el proceso de block-matching puede generar en ocasiones vectores de una gran amplitud relativa.

A consecuencia de la distancia temporal entre las imágenes. De esta forma, es mejor codificar la diferencia entre el bloque actual y el bloque calculado como si se tratara de una imagen del tipo I. A este proceso se le conoce como “compensación de movimiento”.

Para las imágenes B, los vectores de movimiento son calculados por la interpolación temporal de los vectores de la siguiente imagen P; y puede realizarlo de tres formas diferentes (hacia adelante, hacia atrás o bidireccional); el error de predicción más pequeño es retenido y codificado como si fuera una imagen P. Sólo los macrobloques usados para la predicción son codificados, lo que ocasiona que se reduzca la cantidad de información de este tipo de imágenes. Ya que regularmente el tamaño de los objetos es más grande que un macrobloque, existe una fuerte correlación entre los vectores de movimiento de bloques consecutivos, por lo que codificándose de manera diferencial (DPCM), reduce en gran medida el número de bits para almacenarlos. Cuando la predicción no se realiza de manera favorable, por ejemplo, cuando por un movimiento de la cámara se tiene una escena completamente diferente a la que se estaba codificando, las partes correspondientes de la imagen son codificadas como si fueran imágenes I.

#### 2.4.2.5 Control de la tasa de bits

Los flujos de bits (bitstream) generados por un codificador, son llamados “flujos elementales” (ES). Es conveniente que la tasa de bits de los ES se mantenga constante, para satisfacer las restricciones del canal (ya sea para transmisión o para almacenamiento/reproducción) y del búfer de entrada de los decodificadores. Esto no es una tarea fácil, debido a que la secuencia a codificar puede contener grandes cantidades de detalles y movimiento.

Para controlar la tasa de bits a la salida de un codificador, se usa un búfer de tipo FIFO (primero en entrar, primero en salir). La cantidad de información que se almacena en este es monitoreada y mantenida dentro de límites pre-establecidos por un lazo de retroalimentación que modifica los parámetros de cuantización. De esta forma es posible tener una tasa de bits constante, con una resolución que depende del contenido y cantidad de movimiento de la imagen (mientras más movimiento es menor la resolución).

#### 2.4.2.6 Codificación de video MPEG

El proceso de codificación de video se divide en varias etapas:

1. El proceso de codificación comienza dividiendo la imagen en bloques de  $16 \times 16$  o macrobloques (grupos de macrobloques se organizan en slices). Cada macrobloque es además dividido en bloques de  $8 \times 8$  (bloques). Estos bloques representan muestras pequeñas de la imagen completa, aunque preservan la información de la orientación. Cada uno de estos bloques es transformado a través de la DCT.
2. La matriz es cuantizada de acuerdo a un criterio de dispersión de las frecuencias, asignando mayor peso a las frecuencias bajas y menor a las altas, además de redondear al entero más cercano, haciendo que el proceso de cuantización contribuya a agregar pérdidas al proceso de compresión. El bloque o matriz de  $8 \times 8$  representa los elementos más sensibles al ojo en la esquina superior izquierda (cambios lentos o bajas frecuencias) y en la esquina inferior derecha los elementos menos sensibles (cambios rápidos o frecuencias altas).

3. Después del proceso de cuantización la matriz final contiene una cantidad considerable de ceros especialmente en la porción inferior. Un proceso de exploración en zig-zag hace que se considere esta ventaja agrupando los ceros para posteriormente ser codificados por un código de longitud de series, dejando una cantidad pequeña de símbolos.
4. Finalmente estos símbolos son codificados con un código de Huffman para reducir aún más la cantidad de datos para representar los datos del bloque.
5. Este proceso se repite para cada bloque y el resultado es una representación compacta de la imagen completa.

En paralelo con los puntos mencionados anteriormente, se lleva a cabo el proceso de estimación y compensación de movimiento. En la figura 2.4.3 se presenta un diagrama de un codificador MPEG.

Un decodificador no tiene que realizar la estimación de movimiento, lo cual hace que éste sea menos complejo. Incluso, este fue uno de los principales objetivos al fijar el estándar. Por tanto, habrá muchos más decodificadores que codificadores. En la figura 2.4.4 se presenta el diagrama de un decodificador MPEG.

### 2.4.2.7 Codificación del video MPEG-2

El codificador MPEG-2 (figura 2.4.3) es un poco más complejo que el MPEG-1, pero tiene la ventaja de que usa todas las herramientas en las que se basa MPEG-1 y añade otras. De esta forma, un decodificador MPEG-2 (figura 2.4.4), también puede decodificar al MPEG-1.

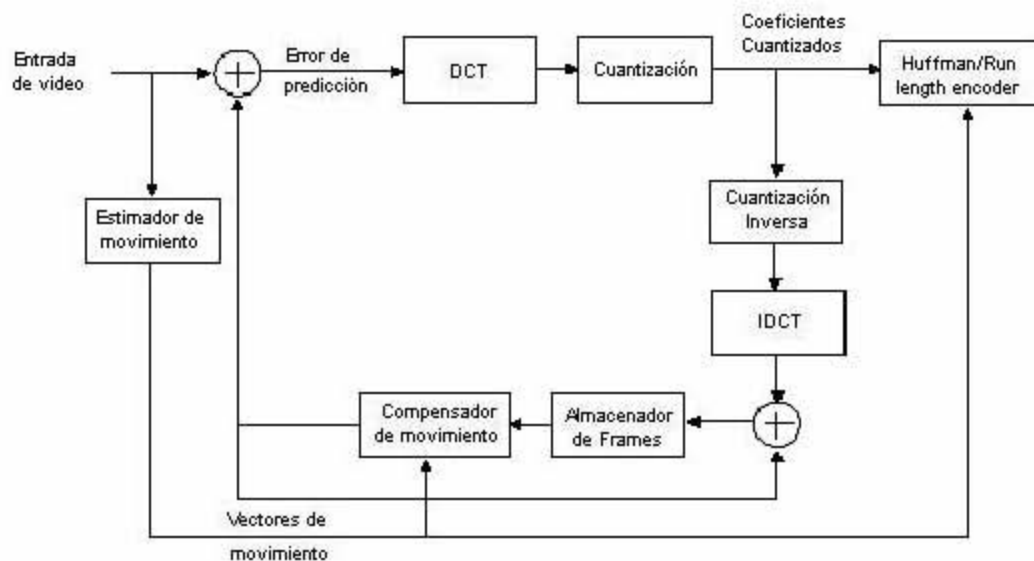


Figura 2.4.3. Diagrama a bloques de un codificador MPEG.



Figura 2.4.4. Diagrama de un decodificador MPEG.

MPEG-2 proporciona nuevos algoritmos para codificar video entrelazado y soportar diversas tasas de bits. MPEG-2 también proporciona herramientas que permiten escalabilidad (aunque algunos perfiles no necesariamente deben ser escalables), es decir, sólo con algunas partes, en el sentido de que con algunas partes del total del flujo de bits, se puede decodificar una secuencia de imágenes.

Por tanto, el flujo de bits total puede estar codificado en capas, donde una capa base permite la decodificación del video y otras capas añaden refinamiento, permitiendo así la mejoría de la resolución. Para esto, el estándar definió los conceptos de perfil y niveles.

#### 2.4.2.7.1. Niveles y perfiles del MPEG-2

Dada la generalidad y para la amplia gama de aplicaciones que puede ser usado, el estándar MPEG-2 define una sintaxis que permite considerar varias características para codificar el video, donde para la facilidad del manejo se definen los conceptos de perfiles y niveles.

El perfil define las características de la sintaxis que pueden usarse para crear un flujo de bits (bitstream), mediante algoritmos. El nivel identifica a los valores en los parámetros, por ejemplo, el tamaño de la imagen o la tasa de bits. Dichos perfiles y niveles fueron diseñados para que cada uno de ellos fuera un subconjunto de otro (los bajos de los altos).

El estándar está compuesto de los perfiles, simple (simple), principal (main), SNR, espacial (spatial) y alto (high) y por 4 niveles, bajo (low), principal (main), alto-1440 (high-1440) y alto (high). También existe otro perfil, pero este es considerado como no jerárquico y es conocido como el perfil 4:2:2. Básicamente el perfil determina la calidad del video y el nivel, la resolución (por ejemplo, desde el formato SIF hasta el HDTV). La tabla 2.4.2 presenta las combinaciones posibles para perfiles y niveles (la sintaxis es `perfil@nivel`) e indica aquellos que son soportados por el estándar (por medio del símbolo p).

Tabla 2.4.2. Combinaciones de perfiles y niveles.

Perfil \ Nivel	Low (bajo)	Main (principal)	High-1440	High (alto)
Simple		✓		
Main (principal)	✓	✓	✓	✓
SNR	✓	✓		
Spatial (especial)			✓	
High (alto)		✓	✓	✓

La tabla 2.4.3 muestra las principales características de los diferentes niveles y perfiles del MPEG-2.

Las características de los perfiles se describen a continuación:

**Perfil simple** se define para simplificar el codificador y el decodificador a expensas de una tasa alta de codificación, de esta forma no usa predicción bidireccional (imágenes B). Las combinaciones posibles son: SP@ML.

**Perfil principal** utiliza los tres tipos de imágenes (I, P y B) para establecer un compromiso entre tasa y costo, por lo que genera codificadores y decodificadores más complejos. Las combinaciones posibles son: MP@LL, MP@ML, MP@H-14, MP@HL.

**Perfil SNR** (codificación jerárquica), éstos permiten la transmisión de una imagen con calidad básica (capa base) en términos de la resolución espacial (perfil escalable espacialmente) o precisión en la cuantificación (perfil de SNR escalable) y de información suplementaria que permiten que las características de la imagen sean mejoradas. Se usa principalmente para transmitir un programa en resolución básica para codificadores estándar y a la vez en alta resolución para decodificadores de Alta Definición (HD); también es usado para permitir la recepción de una resolución básica cuando las condiciones no son muy adecuadas para la alta resolución. Las posibles combinaciones son: SNR@LL, SNR@ML.

Tabla 2.4.3. Niveles y perfiles del MPEG-2.

Niveles		Perfiles				
		Simple	Main	SNR/Spatial	High	4:2:2
	Pictures	I, P	I, P, B	I, P, B	I, P, B	I, P, B
	Chroma format	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:2	4:2:2
High	Max Bit Rate		80 Mbps		100 Mbps (25 base layer)	
	Samples/line		1920		1920	
	Lines/frame		1152		1152	
	Frames/sec		60		60	
High 1440	Max Bit Rate		60 Mbps	60 Mbps (15 base layer)	80 Mbps (20 base layer)	
	Samples/line		1440	1440	1440	
	Lines/frame		1152	1152	1152	
	Frames/sec		60	60	60	
Main	Max Bit Rate	15 Mbps	15 Mbps	15 Mbps (10 base layer)	20 Mbps (4 base layer)	50 Mbps
	Samples/line	720	720	720	720	720
	Lines/frame	576	576	576	576	576
	Frames/sec	30	30	30	30	30
Low	Max Bit Rate		4 Mbps	4 Mbps (3 base layer)		
	Samples/line		352	352		
	Lines/frame		288	288		
	Frames/sec		30	30		

**Perfil espacial** permite tanto escalabilidad espacial como escalabilidad SNR, donde el flujo de bits total puede estar por 2 ó 3 capas diferentes. Cuando se usan 2 capas hay escalabilidad espacial y una de SNR, pero cuando hay 3 capas, cualquiera de los tipos de escalabilidad puede ser usado. Las combinaciones posibles son: Spatial@H-14

**Perfil alto** es empleado para la HDTV en formato 4:2:0 y 4:2:2. Las combinaciones posibles son: HP@ML, HP@H-14, HP@HL.

**Perfil 4:2:2** es usado principalmente en la producción de TV. De esta forma es posible que la tasa máxima de bits llegue hasta los 50 Mbps, obteniendo así una calidad de imagen muy buena. La diferencia con relación al perfil principal es precisamente el formato del croma.

Los cuatro niveles se describen de la siguiente manera:

**Nivel bajo** corresponde a la resolución que es característica de un formato conocido como SIF y es equivalente a 360 × 288.

**Nivel principal** corresponde a la resolución estándar 4:2:0 (720 × 576).

**Nivel alto 1440** es fijado para la HDTV (1440 × 1152).

**Nivel alto** está optimizado para la HDTV con pantalla amplia (wide screen) y una resolución de hasta 1920 × 1152.

Debido a que existe cierta compatibilidad entre los perfiles, un decodificador de estos puede decodificar los perfiles de menores rangos.

Una de las combinaciones más usadas en aplicaciones de televisión abierta es conocida como MP@ML (perfil principal en nivel principal -main profile at main level). Este corresponde a una codificación MPEG-2 de imágenes entrelazadas en formato 4:2:0 con una resolución de 720×480 @ 30Hz ó 720×576 @ 25Hz, según sea el caso, con la posibilidad de codificar imágenes I, P y B. Dependiendo de la tasa de bits y calidad de imagen deseada, así como la naturaleza de las imágenes, la tasa de bits generalmente estará entre 4 Mbps y 9 Mbps. [22]

Una de las principales características del MPEG es el establecimiento de protocolos para el manejo del video. MPEG define una jerarquía de tres flujos de datos principales: elementales, programa y transporte. Estos flujos describen la forma en que tiene que ser ordenada la información para viajar por un canal de manera confiable, proponiendo para esto, la forma de multiplexar varios programas y la especificación de la información para la sincronización y la forma necesaria para su decodificación.

## 2.5 Técnicas de compresión de audio

El sistema auditivo humano es considerablemente menos tolerante a las imperfecciones de lo que es el sistema visual humano. La compresión del audio de calidad es mucho más difícil que la compresión de video. Las razones de compresión típicas alcanzadas en audio son cerca de 4:1 u 8:1, mientras que en video se tienen compresiones de hasta 30:1 o 50:1. Afortunadamente, los anchos de banda de audio son pequeños, y las tasas de datos no son tan pesadas.

Hay dos métodos de compresión de audio principales en competencia y de mayor uso en los sistemas de televisión digital: MPEG-1 capa II y Dolby AC-3. La mayoría de Europa y la industria satelital de Estados Unidos han escogido el sistema MPEG-1 capa II, mientras que la industria del cable y los estándares de radiodifusión en Estados Unidos usan AC-3. Los DVDs (Digital Video Disc) usan Dolby AC-3 para sistemas de 60 Hz (en su mayoría de Estados Unidos y Japón), algunos otros usan MPEG-2 audio (sólo en el modo compatible hacia atrás, que se explicará posteriormente), para sistemas de 50 Hz (en su mayoría europeos).

Existe un tercer método, MPEG-1 capa III, que se ha vuelto muy popular para aplicaciones de audio únicamente, es generalmente conocido por el nombre de su extensión como MP3.

A continuación veremos un poco de los principios de la compresión de audio atendiendo primeramente los aspectos básicos del oído humano, y analizando el modelo de su comportamiento en la presencia de señales de audio. Posteriormente veremos las características de los dos métodos de compresión de audio mencionados anteriormente y cómo toman ventaja de este modelo auditivo del oído para realizar la compresión.

### 2.5.1 Principios de la compresión de audio

Por un largo periodo de tiempo, se ha sabido que el oído humano tiene una sensibilidad máxima para las frecuencias de audio que se encuentran en el rango de 1 a 5 kHz. La curva de sensibilidad, la cual representa el umbral de percepción como función de la frecuencia bajo la ausencia de cualquier señal perturbadora se muestra en la figura 2.5.1.



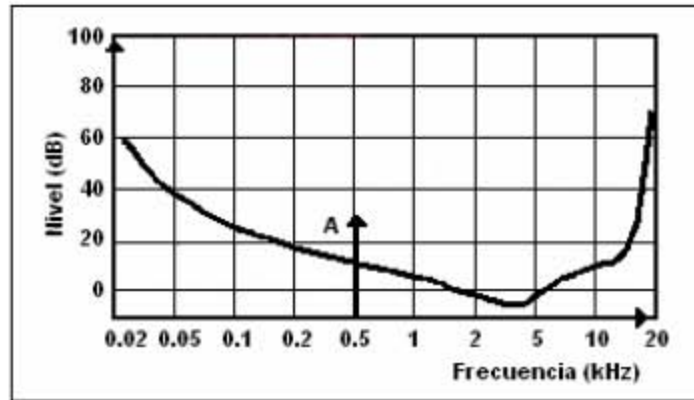


Figura 2.5.1 Sensibilidad del oído humano como función de la frecuencia (señal A es audible).

Aquí se puede ver que la señal A es audible, dado a que sobrepasa el umbral de audición. Más recientemente, sin embargo, se ha sugerido que esta curva es modificada bajo la presencia de múltiples señales, por ejemplo, en el caso de dos señales de frecuencias relativamente cercanas, la señal más fuerte tiene el efecto de incrementar el umbral de percepción alrededor de su frecuencia, lo cual hace al oído menos sensitivo en la región de esta frecuencia. Este efecto se ilustra en la figura 2.5.2, donde se puede ver que la señal A, previamente audible, es ahora “enmascarada” por la señal B que es tiene más potencia que la señal A. Este efecto se conoce como *enmascaramiento en frecuencias*.

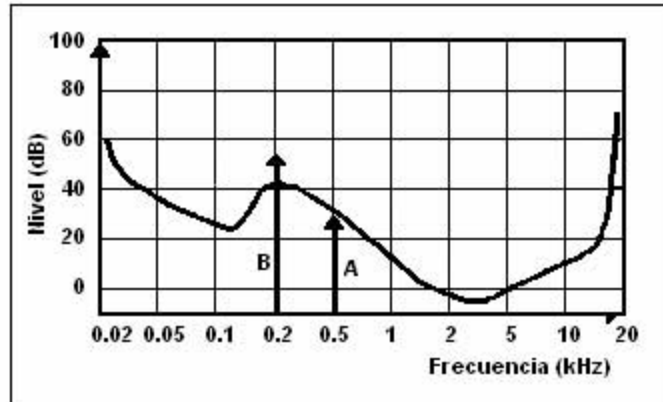


Figura 2.5.2 Efecto de enmascaramiento en frecuencia (señal A es enmascarada por la señal B).

También hay otro efecto conocido como enmascaramiento temporal. Lo que aquí sucede es que un sonido de amplitud muy fuerte enmascara al sonido que le precede o le sigue inmediatamente en tiempo. Esto se ilustra en la figura 2.5.3.

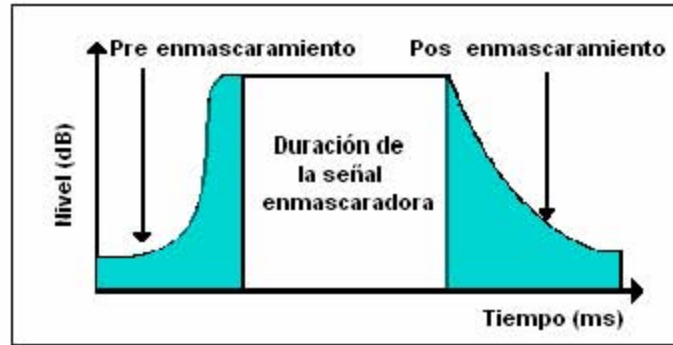


Figura 2.5.3 Efecto de enmascaramiento temporal.

Con base en estos principios, ahora se verá cómo se aprovechan en las técnicas de compresión de audio. [5]

## 2.5.2 Procesos de compresión de audio

Toda compresión de datos de audio se basa en la comprensión del mecanismo auditivo, por lo que constituye una forma de codificación perceptual. El oído es sólo capaz de extraer una cierta proporción de la información contenida en un determinado sonido. A esto se le denomina entropía perceptual, siendo redundante el sonido adicional. Un sistema ideal debe eliminar toda redundancia, dejando únicamente la entropía.

Existen muchos tipos de compresión de audio y cada uno permite un factor de compresión diferente. Uno de ellos es la codificación de la sub-banda y otro es la codificación por transformación.

### 2.5.2.1 Codificación de la sub-banda

La codificación de la sub-banda imita el mecanismo de análisis en frecuencia del oído humano y divide el espectro de audio en un gran número de bandas de frecuencias diferentes con el fin de poder explotar el hecho de que la mayoría de las bandas contienen señales cuyo nivel es inferior al de la señal más alta. Las señales de estas bandas pueden ser cuantificadas independientemente. El error de la cuantificación que resulta es confinado a los límites de la frecuencia de la banda y así ser enmascarado por el material del programa.

Aprovecha el hecho de que los sonidos reales no tienen una energía espectral uniforme. La longitud de la palabra del audio PCM está basada en el rango dinámico requerido. Cuando una señal con un espectro no uniforme es transmitida por PCM, todo el rango dinámico es ocupado únicamente por la componente espectral más alta, y todas las demás componentes son codificadas con excesivo headroom (área entre el nivel normal de funcionamiento y el nivel de recorte). 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. Las bandas en las que hay poca energía dan como resultado amplitudes pequeñas que pueden transmitirse con una longitud de palabra corta. Por tanto, cada banda se traduce en muestras de longitud variable, pero la suma de todas las longitudes de palabra de la muestra es inferior a la de la PCM, pudiendo obtenerse así una ganancia de codificación.

El número de sub-bandas que pueden utilizarse depende de qué otra técnica de compresión se vaya a combinar con la codificación de la sub-banda. Si se tiene la intención de utilizar la compresión basada en el enmascaramiento auditivo, es preferible que las sub-bandas sean más estrechas que las bandas críticas del oído y, por tanto, se requerirá un gran número; así, por ejemplo en MPEG y PASC (Precision Adaptive Subband Coding) se emplean 32 sub-bandas. La Figura 2.5.4 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 de cuantificación que puede enmascarse. No obstante, la utilización de un número excesivo de sub-bandas acentúa la complejidad y el retardo de codificación, y también arriesga el pre-eco en los transitorios que exceden el enmascaramiento temporal.

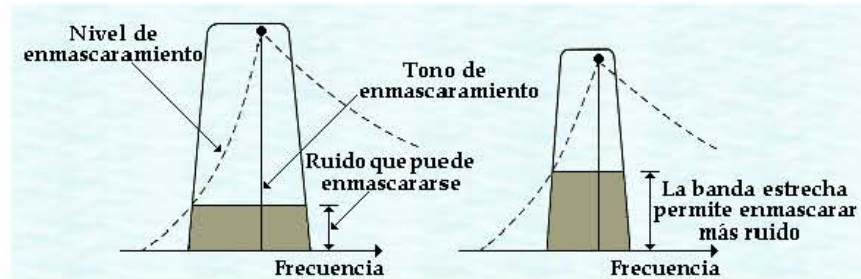


Figura 2.5.4 En la codificación de la sub-banda, el caso más desfavorable tiene lugar cuando el tono de enmascaramiento se encuentra en el límite superior de la sub-banda.

La figura 2.5.5 muestra los diagramas de bloques de un codificador y un decodificador de sub-bandas, respectivamente. En la entrada, el rango de frecuencias es dividido en sub-bandas mediante un banco de filtros tal como un filtro especular en cuadratura. Los datos descompuestos de la sub-banda se organizan en bloques de tamaño fijo, antes del proceso de reducción. Aunque todas las sub-bandas pueden utilizar bloques de la misma longitud, algunos codificadores pueden utilizar bloques que se hacen más largos a medida que disminuye la frecuencia de la sub-banda. Los bloques de la sub-bandas también se denominan bins de frecuencia.

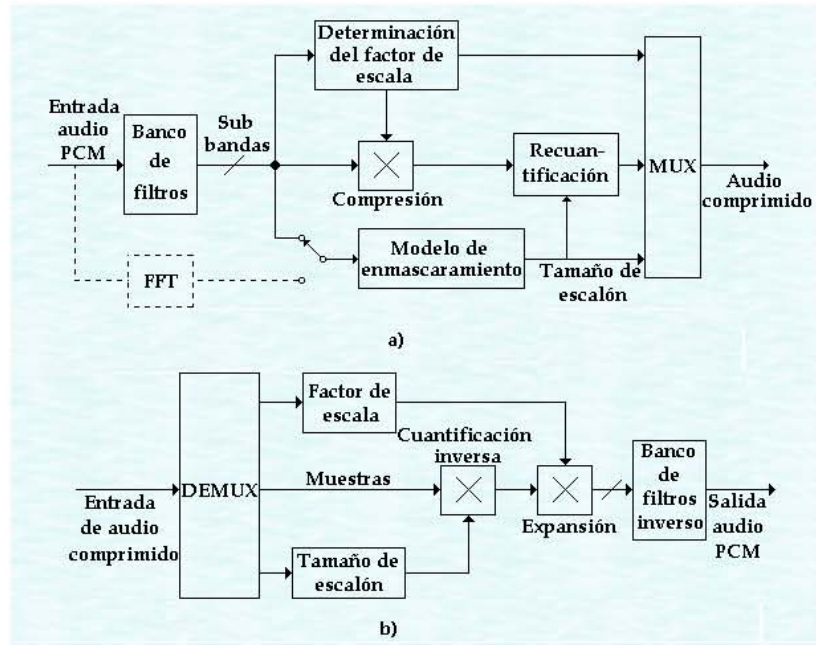


Figura 2.5.5 a) diagrama a bloque de un codificador de sub-bandas, b) diagrama a bloques de un decodificador de sub-bandas.

La ganancia de codificación se obtiene cuando la forma de onda de cada banda pasa a través de un cuantificador (en realidad es un recuantificador ya que la señal entrante es una señal PCM). La cuantificación se consigue multiplicando los valores de las muestras por una constante y redondeando el resultado por exceso o por defecto de acuerdo con la longitud de palabra requerida. Cuanto menor es la longitud de palabra, mayor es la ganancia de codificación, pero más toscos resultan los escalones de cuantificación y, por tanto, el nivel de error de cuantificación.

### 2.5.2.2 Codificación por transformación

El análisis de Fourier permite representar cualquier forma de onda mediante un conjunto de componentes armónicamente relacionados de amplitud y fase adecuadas. De esta manera, en la codificación por transformación la forma de onda de audio en el dominio del tiempo es convertida a una representación en el dominio de la frecuencia como una Transformada de Fourier, Transformada Discreta de Fourier (DFT), o la Transformada Discreta de Coseno (DCT). Se toma ventaja del hecho de que la amplitud o cubierta de una señal de audio cambia relativamente despacio, con lo que los coeficientes de la transformada pueden transmitirse relativamente con poca frecuencia.

La lenta señal sonora procedente del tubo de un órgano o de la cuerda de un violín, o el lento decrecimiento de la mayoría de los sonidos musicales, permite la reducción de la frecuencia a la que la transformada es muestreada, obteniéndose una ganancia de codificación. Es posible obtener una ganancia de codificación adicional si las componentes que experimentarán el enmascaramiento se cuantifican de manera más rudimentaria.

Las transformadas prácticas requieren bloques de muestras en lugar de cadenas interminables. La solución está en cortar la forma de onda en pequeños segmentos solapados y, seguidamente, transformar cada uno de ellos individualmente. De este modo, cada muestra de entrada aparece en sólo dos transformadas, pero con una ponderación variable dependiendo de su posición en el eje temporal.

La Transformada Discreta de Fourier requiere un gran número de cálculos, debido al requisito de tener que utilizar una aritmética compleja para obtener la fase de las componentes, así como la amplitud. Una alternativa consiste en emplear la Transformada Discreta de Coseno, que presenta una ventaja cuando se utiliza con ventanas solapadas. En la Transformada Discreta del Coseno Modificada (MDCT), se usan ventanas con un solapamiento del 50%. De este modo, se obtiene el doble de coeficientes necesarios, que se submuestran por un factor de dos para obtener una transformada muestreada críticamente, lo cual tiene como resultado un efecto un aliasing potencial en el dominio de la frecuencia. Sin embargo, variando levemente la transformada, los productos de aliasing en la segunda mitad de una determinada ventana son iguales en tamaño, pero de polaridad opuesta a los productos de aliasing de la primera mitad de la siguiente ventana, por lo que se eliminarán en su reconstrucción. Éste es el principio de la eliminación del aliasing en el dominio temporal (TDAC, Time Domain Aliasing Cancellation).

La cuantificación (o recuantificación) realizada en el codificador eleva el ruido de cuantificación en el bin de la frecuencia, pero lo hace durante todo el tiempo que dura el bloque. La figura 2.5.6 muestra que, si se produce un transitorio hacia el extremo final de un bloque, el decodificador reproduce la forma de onda correctamente, pero el ruido de cuantificación comenzará al principio del bloque y puede dar lugar a un pre-eco en el que el ruido se oye antes que el transitorio.

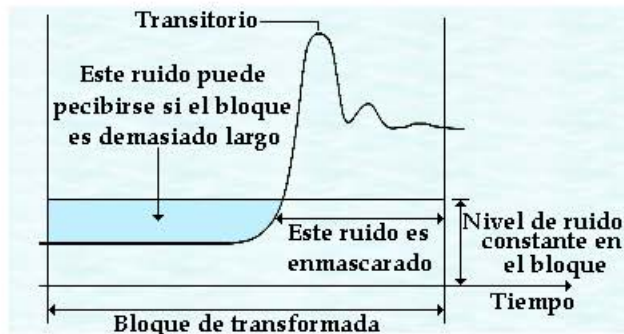


Figura 2.5.6 Transitorio en el final de un bloque de una transformada.

La solución es utilizar una ventana de tiempo variable de acuerdo con el contenido del transitorio de la forma de onda de audio. Cuando se producen transitorios musicales, se necesitan bloques cortos, por lo que la resolución de la frecuencia y, por tanto, la ganancia de codificación serán bajas. En otras ocasiones, los bloques pueden hacerse más grandes, mejorando así la resolución de la frecuencia de la transformada y obteniéndose una mayor ganancia de codificación.

### 2.5.3 Compresión de audio con MPEG

El tema de la compresión de audio estaba muy avanzado cuando el grupo de audio de MPEG fue formado. Como resultado, no fue necesario para el grupo producir o desarrollar codecs (codificador-decodificador) desde el principio, dado que el trabajo existente se consideraba conveniente. Como parte del proyecto Eureka 147 (un consorcio internacional de radiodifusores, operadores de red, industrias del consumo electrónico e institutos de investigación se juntaron para desarrollar el sistema DAB-Digital Audio Broadcasting- para radio digital), se desarrolló un sistema conocido como MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding and Multiplexing) en conjunto con la CCETT (Centre Commun d'Études de Télédiffusion et de Télécommunication- Centro Comun de Estudios de Teledifusión y de Telecomunicaciones) en Francia, IRT (Institut für Rundfunktechnik-Instituto para la Radio

tecnología) en Alemania y Philips en Holanda. MUSICAM se diseñó para ser usado por DAB. De forma paralela, el sistema ASPEC (Adaptative Spectral Perceptual Entropy Coding) se desarrolló a partir de anteriores sistemas como una propuesta de unión de los laboratorios AT&T, Thomson, the Fraunhofer Society y CNET. ASPEC se diseñó para su uso con altos factores de compresión para permitir la transmisión de audio en ISDN (Integrated Services Digital Network).

Estos dos sistemas fueron implementados completamente en julio de 1990 cuando se realizaron pruebas muy completas en la Corporación Sueca de Radiodifusión. Como resultado de estas pruebas, el grupo de audio de MPEG combinó los atributos de ASPEC y MUSICAM en un solo estándar teniendo tres niveles de complejidad y desarrollo.

Estos tres niveles, que son conocidos como capas, se necesitan debido al número de posibles aplicaciones dependiendo de la calidad de la señal de audio.

MPEG toma ventaja de la codificación de la sub-banda para las capas I y II. La codificación consiste en dividir la banda de frecuencias de audio en 32 sub-bandas de igual ancho (750 Hz) mediante un banco de filtros polifásico. La señal de salida de un filtro sub-banda correspondiente a una duración de 32 muestras PCM es llamada muestra de sub-banda.

También se cuenta con un bloque que contiene el modelo psico-acústico el cual es dinámico y se ajusta continuamente. El análisis de la señal para determinar el umbral o la curva de enmascaramiento no se hace para cada muestra PCM, sino que se lleva a cabo en un intervalo de tiempo llamado "frame", el cual corresponde a una duración de 12 x 32 muestras PCM para capa I o de 12 x 96 muestras PCM para capa II. En este intervalo, el codificador tiene que evaluar la máxima amplitud de la señal de manera que se defina un factor de escala, el cual es codificado en 6 bits, cubriendo un rango dinámico de 128 dB en 64 pasos de 2 dB.

Para la capa III se hace una codificación híbrida, (codificación de la sub-banda y por transformación), ya que primeramente se hace una división en sub-bandas mediante filtros y después se realiza una transformada (ya sea DCT o MDCT) [14].

### 2.5.3.1 Las capas de audio de MPEG

Como se mencionó anteriormente, el estándar de audio de MPEG define tres capas de codificación, cada una con diferentes velocidades de compresión para una calidad de audio percibida. A continuación mostraremos algunas de sus características:

- Capa I o pre-MUSICAM. Esta capa usa el algoritmo PASC (Precision Adaptative Sub-band Coding) desarrollado por Philips para su casete de audio digital (DCC). Utiliza una tasa de bits fija escogida de entre 14 posibilidades en el rango de 32 a 448 kbps. Para una calidad de audio de alta fidelidad se requiere de 192 kbps por canal de audio, y en estéreo se requieren 384 kbps. La principal ventaja de la capa 1 es la relativa simplicidad del codificador y del decodificador.

El modelo psico-acústico usado es conocido como modelo 1. La precisión de la cuantización de los coeficientes de la sub-banda es definida para la duración completa del frame por un número de 4 bits, el cual permite una codificación de 0 a 15 para cada sub-banda, y el factor de escala de 6 bits también se define para el frame completo.

- Capa II. Ésta representa el modo principal que se usa en el sistema DVB y usa el algoritmo conocido como MUSICAM. Para una calidad de audio equivalente a la de la capa I, la capa II requiere una tasa de bits menor de un 30 a 50%, con la desventaja de que el codificador y decodificador aumentan en complejidad. La tasa de bits es fija y escogida de 32 a 192 kbps por canal.

El modelo psico-acústico usado es el mismo que para la capa I, pero la duración del frame es tres veces más larga. También, para reducir la tasa de bits, la precisión de cuantización de los coeficientes de sub-banda decrece con la frecuencia (cuantización definida para 4 bits en bandas de frecuencias bajas, 3 bits para bandas

medias y 2 para bandas de alta frecuencia) en vez de usar el formato fijo empleado en la capa I. Adicionalmente, dos o tres muestras de sub-banda consecutivas pueden ser agrupadas y codificadas con el mismo coeficiente.

- Capa III. Este es un desarrollo reciente usando un modelo psico-acústico diferente (modelo 2), una codificación de Huffman y un análisis de señal basado en la Transformada Discreta de Coseno (DCT) en vez de la codificación sub-banda usada en las capas anteriores. Para una determinada calidad, la velocidad de compresión alcanzable en esta capa es aproximadamente el doble de alto que para la capa II, pero el codificador y el decodificador son sustancialmente más complejos y el tiempo para codificar/decodificar es también más grande. La calidad de Alta Definición requiere únicamente 64 kbps por canal o 128 kbps para estéreo. Esta capa está dirigida principalmente para aplicaciones unidireccionales en medios de bajas tasas de transmisión (como por ejemplo ISDN), y su uso no está previsto para la difusión de TV digital para los hogares.

#### 2.5.4 Compresión de audio Dolby Digital (AC-3)

El origen de la tecnología AC-3 vino del deseo de proporcionar una mejor calidad del sonido multicanal para la televisión de Alta Definición (HDTV). En Estados Unidos, el proceso de estandarización para la HDTV comenzó en 1987 con la creación del Comité Consultivo para el Servicio de Televisión Avanzada (ACATS). Las propuestas iniciales se inclinaban hacia una transmisión de imagen analógica y una transmisión de sonido digital.

En 1990 nace el concepto de AC-3: un codificador de audio multicanal, operando en la misma tasa de transmisión de bits requerida por dos canales de audio codificados independientemente, ofreciendo al mismo tiempo desempeño multicanal. Si tenía éxito, el concepto de AC-3 permitiría que HDTV ganara en la transmisión discreta de audio, sin pagar el precio correspondiente de duplicar la tasa de transmisión de bits requerida.

Mientras se concibió en respuesta a la necesidad para HDTV, el concepto de AC-3 se realizó primero a una respuesta similar en el cine. En 1989, un grupo de la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) estudió el asunto de cuántos canales de audio debería de ofrecer un nuevo sistema de sonido digital para cine. La conclusión fue que se deberían de proporcionar 5.1 canales (izquierdo, central, derecho, envolvente izquierdo, envolvente derecho y el subwoofer), el cual es idéntico al formato de 70 mm que se había estado usando en el cine desde 1979. De manera que se pudieran colocar los datos de audio de manera confiable en una cinta, y que no interfiriera tanto con la imagen o el área de sonido analógico de la cinta, la tasa de transmisión disponible es limitada. Se determinó que 320 kbps de datos de audio con detección de errores sería confiable para colocarlos y extraerlos del área de la cinta entre las perforaciones de agujeros de diente en un lado de la cinta de 35mm. Todo lo que era requerido era entender el concepto de AC-3 como un codificador de 5.1 canales de audio operando a 320 kbps.

Debido al rápido desarrollo requerido para lanzar una película comercial, AC-3 fue primeramente implementado como un sistema en tiempo real corriendo en múltiples tarjetas DSP. Las primeras demostraciones de la industria del cine comenzaron en mayo de 1991. En ese momento la existencia del sistema de codificación de audio AC-3 fue divulgada públicamente y fue abrazado por la comunidad de audio de HDTV en Estados Unidos. El grupo de trabajo 10-1 de la UIT BR (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se reunió en junio de 1991 y aceptó el formato de audio de 5 canales, estableciendo las bases para una recomendación. En febrero de 1992, el Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC) publicó un documento donde recomendaba formalmente la codificación en 5.1 canales de audio para el servicio de HDTV. En febrero de 1992, el grupo de trabajo de la UIT 10-1 aceptó el canal 0.1 de baja frecuencia y modificó su proyecto de recomendación. En 1993 se le realizaron pruebas subjetivas al sistema AC-3 en Estados Unidos para evaluar qué tan conveniente era

## *Capítulo 2. Televisión Digital*

incluirlo en el sistema de Alta Definición que se estaba proponiendo por la Gran Alianza (consorcio de propulsores de HDTV los cuales han sido autorizados para colaborar en el sistema de radiodifusión de HDTV). En octubre de 1993 la Gran Alianza recomendó el uso de Dolby AC-3 en el sistema HDTV. En noviembre del mismo año el comité completo de ACATS aprobó formalmente el uso de AC-3 por el sistema HDTV de la Gran Alianza

El modelo de codificación de audio AC-3 es híbrido, ya que usa una codificación de sub-banda y también una por transformación. En el capítulo 3 se hará una descripción más detallada de su funcionamiento. [32][37]



## Capítulo 3. Estándar ATSC

### 3.1 . Sistema de Televisión Digital ATSC (Advanced Televisión System Committee)

El estándar de televisión digital describe un sistema diseñado para transmitir audio y video de alta calidad, además de datos auxiliares sobre un canal de 6 megahertz. Como se menciona en el capítulo 2, el sistema también puede entregar de manera confiable cerca de 19 Mbps en un canal de radiodifusión terrestre de 6 MHz y cerca de 38 Mbps en un canal de televisión por cable en el mismo ancho de banda, de 6 MHz.

El sistema está diseñado para que utilice de manera eficiente la capacidad del canal, empleando complejos sistemas de compresión de audio y video. Esto permite la recepción de señales con calidad hasta cinco veces superior que la resolución en NTSC, y que pueden ser enviadas sin tener que aumentar el ancho de banda (6 MHz), maximizando así la cantidad de información de audio y video asociado que se puede transmitir, así como también datos.

La figura 3.1.1 hace referencia a un diagrama de bloques del sistema de transmisión y recepción de televisión digital terrestre del estándar ATSC. Se observa que este sistema consta de cuatro bloques principales, tres de ellos se encuentran en el transmisor y el otro restante es el receptor.

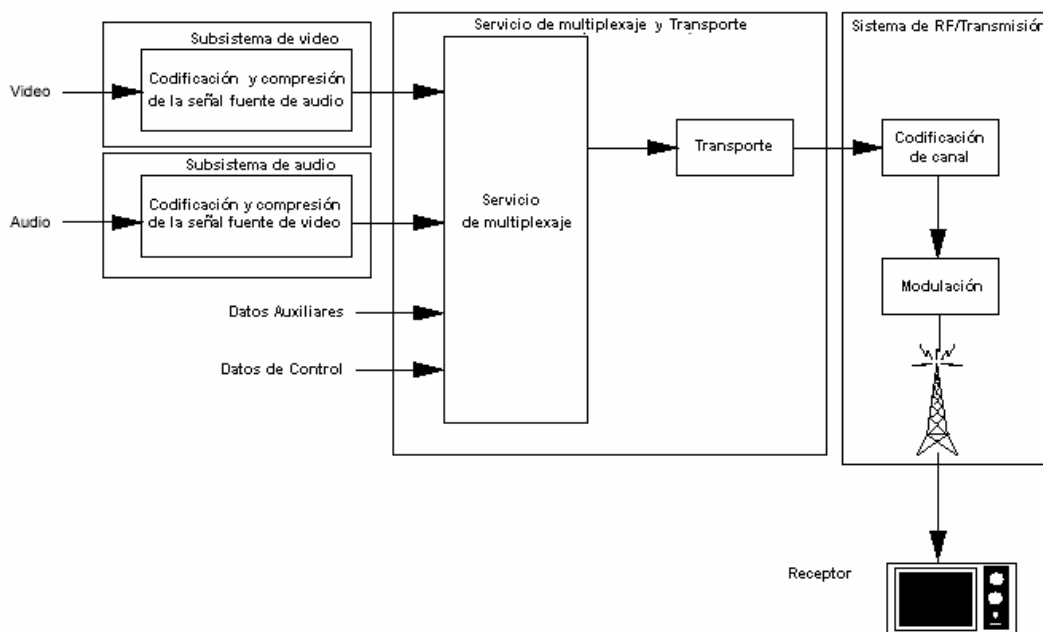


Figura 3.1.1. Modelo de sistema de televisión digital terrestre presentado por la UIT-R.

### Capítulo 3. Estándar ATSC

Esta representación está basada en un modelo adoptado por el grupo de trabajo 11/3 (Radiodifusión de Televisión Digital terrestre) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones Sector Radiocomunicaciones (UIT-R).

Los tres grandes bloques del sistema de transmisión son:

- Codificación y compresión de la fuente
- Transporte y Servicio de Multiplexaje
- Radiofrecuencia y Transmisión

La codificación y compresión de las señales fuente se refiere a los métodos de reducción de tasas de bits o de compresión, aplicables a las señales de video y audio, así como también a los flujos de datos auxiliares. Los datos auxiliares incluyen los datos de control, de acceso condicional y los que están asociados a los servicios del programa de video y audio. El propósito de los codificadores es el de reducir el número de bits necesario para representar la señal de audio y video.

Para la codificación de video el sistema emplea la sintaxis de MPEG-2, y para el audio se emplea el sistema de codificación AC-3.

La etapa de transporte y servicio de multiplexaje se encarga de dividir el flujo de datos digitales en paquetes de información, identificar cada paquete y realizar el multiplexaje con métodos apropiados de los paquetes de flujo de video, audio y los datos auxiliares en un solo flujo de datos. Aquí se emplea la sintaxis de transporte MPEG-2 para el empaquetamiento y multiplexaje de las señales de video, audio y datos.

La parte de radiofrecuencia y transmisión se refiere a la codificación del canal y a la modulación, el codificador de canal toma el flujo de bits de datos y le añade información adicional que puede ser usada por el receptor para reconstruir datos de la señal recibida la cual, debido a los deterioros que sufre en su viaje, puede no representar de una manera acertada la señal originalmente transmitida. La modulación (o capa física) usa la información del flujo de datos digital para modular la señal transmitida. Este subsistema de modulación ofrece dos modos: modo radiodifusión terrestre (8 VSB, Vestigial Side Band o Banda Lateral Residual) y un modo de alta tasa de datos (16 VSB) para televisión por Cable.

El último bloque es el receptor. El sistema receptor ATSC recupera los bits que representan la señal original de video, audio y otros datos a partir de la señal modulada. Éste realiza las siguientes funciones:

- Sintoniza el canal seleccionado de 6 MHz.
- Rechaza canales adyacentes y otras fuentes de interferencia.
- Remodula (ecualiza como necesario) la señal recibida, aplicando una corrección de errores para producir un flujo de bits de transporte.
- Identifica los elementos del flujo de bits que usan un procesador de transporte.
- Selecciona cada elemento deseado y lo envía a su procesador adecuado.
- Decodifica y sincroniza cada elemento.
- Presenta la programación.

Básicamente en esto consiste el estándar de televisión digital terrestre A/53. En los puntos siguientes se explicará con mayor detalle cómo están constituidos los sistemas de transmisión y recepción ATSC.

### 3.2. Características del sistema de video

La compresión en un sistema de televisión digital es esencial, partiendo del hecho de que la velocidad binaria necesaria para representar una señal de televisión de Alta Definición en forma digital y sin comprimir es cercana a 1 Gbit/s, y la que se requiere para representar una señal de televisión estándar es de alrededor de 200 Mbit/s, en tanto que la velocidad binaria en que puede ser transmitida en un canal de 6 MHz de televisión estándar es aproximadamente de 19 Mbits/s. Esto indica que se requieren promedios de compresión 50:1 o mayores para televisión de Alta Definición y de compresión 10:1 para televisión estándar.

El estándar de televisión digital ATSC especifica la compresión de video empleando una combinación de técnicas desarrolladas para comprimirlo. Por razones de compatibilidad, estos algoritmos para comprimir han sido seleccionados para ajustarse a las especificaciones del estándar MPEG-2 el cual, recordemos, es un conjunto flexible, internacionalmente aceptado, de algoritmos de compresión.

#### 3.2.1. Niveles y perfiles de MPEG-2

El estándar MPEG-2 está organizado dentro de un sistema de perfiles y niveles, donde las aplicaciones pueden asegurar interoperabilidad si se emplea el tipo de equipo y procesamiento que se rija por una serie de herramientas y parámetros comunes. El estándar de televisión digital ATSC se basa en el Perfil Principal (Main Profile) de MPEG-2. Como se explicó en el capítulo 2, el perfil principal incluye tres tipos de tramas para la predicción (tramas I, tramas P y tramas B), y una organización de muestras de luminancia y crominancia (designadas 4:2:0) dentro de la trama. El perfil principal no incluye un algoritmo escalable, donde la escalabilidad implica que un subconjunto de los datos comprimidos puedan ser decodificados sin decodificar el flujo completo de datos. El nivel alto (high level) incluye formatos superiores a 1152 líneas activas y superiores a 1920 muestras por línea activa, y para el perfil principal está limitado a una velocidad de datos comprimida de no más de 80 Mbits/s.

##### 3.2.1.1. Compatibilidad con MPEG-2

El sistema de compresión de video no incluye elementos algorítmicos que caigan fuera de las especificaciones para el perfil principal (MP) de MPEG-2. Así, los decodificadores de video que conforman la combinación MP@HL se espera que decodifiquen flujos de bits producidos de acuerdo con el estándar ATSC. Aunque no necesariamente es el caso de todos los decodificadores de video que estén basados en el estándar de televisión digital que sean capaces de decodificar todos los flujos de bits de video que cumplen con la combinación MP@HL de MPEG-2.

#### 3.2.2. Panorama general de la compresión de video

El sistema de compresión de video toma de una fuente análoga o de video digital descomprimido la señal a transmitir y arroja una señal digital comprimida que contiene información que puede ser decodificada para producir una versión aproximada de la secuencia de imágenes original. El éxito de la aproximación reconstruida es que ésta sea casi la misma que la versión original para la mayoría de los observadores, en la mayoría de las imágenes y la mayor parte del tiempo. A fin de acercarse a la fidelidad, los algoritmos son flexibles y

adaptables a los cambios, dependiendo del contenido de la escena, historia del procesamiento y percepción de distorsiones introducidas por la compresión.

La figura 3.2.1 muestra el camino completo de las señales de video en el sistema ATSC de televisión digital.

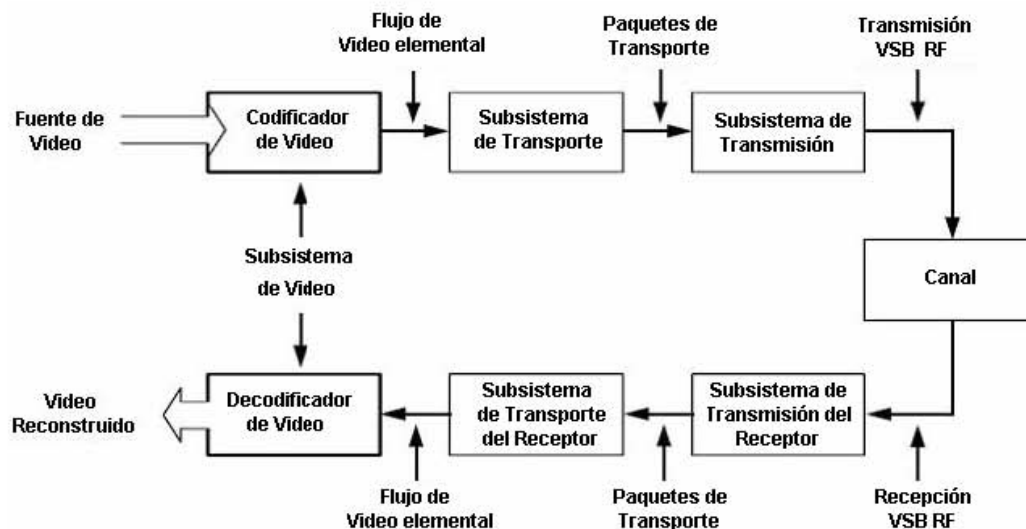


Figura 3.2.1. Codificación de video en relación al sistema DTV.

Las señales de video presentadas al sistema son digitalizadas primero (si no es que ya se encuentran en forma digital) y enviadas al codificador para su compresión; los datos comprimidos son entonces transmitidos sobre un canal de comunicaciones. Una vez recibida, la señal comprimida se descomprime en el decodificador y se reconstruye para desplegarla en una pantalla.

### 3.2.2.1. Preprocesamiento de video

El preprocesamiento de video convierte las señales de entrada en muestras digitales para las subsecuentes compresiones. Las señales de entrada análoga están generalmente compuestas por señales de televisión estándar o componentes de luminancia (Y) y crominancia (Pb y Pr) de señales de Alta Definición, éstas son primero decodificadas (para señales compuestas), y después digitalizadas como componentes de luminancia (Y) y crominancia (Cb y Cr). Las señales digitales de entrada, tanto de definición estándar como de Alta Definición, son generalmente señales digitales en serie que llevan componentes Y, Cb y Cr. Las señales de entrada pueden experimentar preprocesamiento para la reducción de ruido u otros algoritmos de procesamiento que mejoren la eficiencia de la codificación de la compresión. Además del procesamiento, se realiza el filtrado de la crominancia y luminancia, sumado al submuestreo.

### 3.2.2.2. Formatos de compresión de video

La tabla 3.2.1 enlista los formatos de compresión de video permitidos en el estándar ATSC.

### Capítulo 3. Estándar ATSC

En la tabla, la columna “líneas verticales” se refiere al número de líneas activas en la imagen. La columna “píxeles” se refiere al número de píxeles durante la línea activa. La columna “relación de aspecto” se refiere a la relación de dimensiones que guarda la imagen. “Velocidad de cuadro” tiene que ver con el número de tramas o campos por segundo. En los valores duración de imagen, “P” se refiere al escaneo progresivo, e “I” al escaneo entrelazado. Nótese que es permitida tanto la duración de imágenes de 60.00 Hz y 59.94 Hz.

Tabla 3.2.1. Formatos de video la televisión digital estándar.

<b>Líneas verticales</b>	<b>Píxeles</b>	<b>Relación de aspecto</b>	<b>Velocidad de cuadro</b>
1080	1920	16:9	60I, 30P, 24P
720	1280	16:9	60P, 30P, 24P
480	704	16:9 y 4:3	60P, 60I, 30P, 24P
480	640	4:3	60P, 60I, 30P, 24P

#### 3.2.2.3. Posibles entradas de video

A pesar de que el ATSC no los requirió, existen ciertos estándares de producción de televisión digital, que se muestran en la tabla 3.2.2, que definen los formatos de video que se relacionan a formatos de compresión especificados por la televisión digital estándar. Los formatos de compresión pueden ser obtenidos de uno o más formatos apropiados de video. Podemos anticipar que los estándares de producción adicionales para la creación de video serán desarrollados en el futuro, lo que amplía el número de posibles formatos de entrada.

Tabla 3.2.2. Formatos estandarizados de entradas de video.

<b>Estándar de video</b>	<b>Líneas activas</b>	<b>Muestras activas / línea</b>	<b>Duración de imagen</b>
SMPTE 274M-1998	1080	1920	24P, 30P, 60I
SMPTE 296M-2001	720	1280	24P, 30P, 60P
SMPTE 293M-2003	483	720	60P
ITU-R BT, 601-5	483	720	60I

#### 3.2.2.4. Velocidad de muestreo

Para el formato de 1080 líneas, con 1125 líneas por cuadro y 2200 muestras por línea, la frecuencia de muestreo es de 74.25 MHz para la velocidad de 30.00 cuadros por segundo (cps). Para el formato de 720 líneas, con 750 líneas por cuadro y 1650 muestras por línea, la frecuencia de muestreo es de 74.25 MHz para la velocidad de 60.00 cps. Para el formato de 480 líneas se usan 704 píxeles, con 525 líneas por cuadro y 858 muestras por línea, la frecuencia de muestreo es de 13.5 MHz para la velocidad de campo de 59.94 Hz. Nótese que

tanto 59.94 cps y 60.00 cps se aceptan como velocidades de cuadro o de campo para el sistema.

Para los formatos de 1080 líneas y 720 líneas, otras velocidades de cuadro, específicamente 23.976, 24.00, 29.97 y 30.00 cps son aceptables como entrada al sistema. La frecuencia de muestreo será cualquiera de las dos, ya sea 74.25 MHz (para 24.00 y 30.00 cps) ó 74.25/1.001 MHz para las otras velocidades. El número de muestras totales por línea es el mismo para cualquiera de las velocidades de imagen apareadas. Más información puede ser consultada en las recomendaciones SMPTE 274M y SMPTE 296M.

Las seis frecuencias de cuadro (frame rates) son las únicas frecuencias permitidas para el estándar ATSC.

En este capítulo las referencias a 24 cps incluyen las dos frecuencias: 23.976 y 24.00 cps, en 30 cps se incluyen: 29.97 y 30.00 cps, y para 60 cps se incluyen las frecuencias 59.94 y 60.00 cps. Para el formato de 480 líneas puede haber 704 ó 640 píxeles en la línea activa.

Los formatos entrelazados están basados en la recomendación ITU-R BT. 601-5; los formatos progresivos están basados en la SMPTE 294M. Si la entrada está basada en la ITU-R BT. 601-5 o SMPTE 294M se tendrán 483 o más líneas activas con 720 píxeles en la línea activa. Sólo 480 de estas líneas activas son codificadas. Las líneas para ser codificadas deberían ser líneas 23-262 y 286-525 para 480I y líneas 45-524 para 480P, como se especifica en la práctica recomendada RP-202: "Alineación de Video para Codificación MPEG". Sólo 704 de los 720 píxeles son usados para la codificación; los primeros 8 y los últimos 8 son retirados o descartados. Las 480 líneas, o sea el formato de 640 píxeles en imagen no se encuentra relacionado actualmente a algún formato de producción de video. Este corresponde al formato IBM VGA de gráficas y puede ser usado con fuentes que se acogen a la recomendación ITU-R BT. 601-5 que usan técnicas de sobremuestreo asociadas.

### 3.2.2.5. Colorimetría

Para los propósitos del estándar ATSC, "colorimetría" significa la combinación de colores primarios, características de transferencia, y coeficientes de matriz. Las entradas de video conforme a la recomendación SMPTE 274M y la SMPTE 296M tienen la misma colorimetría; en este capítulo, esto será referido a la colorimetría SMPTE274M. Note que la colorimetría SMPTE274M es la misma que la colorimetría UIT-R BT.709 Parte 2. Las entradas de video correspondientes a la UIT-R BT. 601-5 deberían tener colorimetría SMPTE170M.

La ISO/IEC 13818-2 permite al codificador señalar los valores de los parámetros de colorimetría al decodificador.

Si **sequence\_display\_extension()** no está presente en el flujo de bits, o si **color\_description** es cero, los colores primarios, características de transferencia, y coeficientes de matriz se entiende están implícitamente definidos por la aplicación. Por tanto, la colorimetría siempre sería explícitamente señalada usando **sequence\_display\_extension()**. Si esta información no es transmitida, el comportamiento del receptor no se puede predecir.

En la construcción de los flujos de bits, los difusores deberían entender que algunos receptores desplegarán formatos de 480 líneas de acuerdo con la recomendación de colorimetría SMPTE 170M (de valor 0x06) y formatos de 720 líneas y 1080 líneas de acuerdo a la colorimetría SMPTE 274M (de valor 0x01). Se creyó que pocos receptores desplegarán adecuadamente las otras combinaciones de colorimetría permitidas por la ISO/IEC 13818-2. El material que usa la colorimetría SMPTE 240M debería ser tratado como si se usara la colorimetría UIT-R BT. 709 Parte 2.

### 3.2.2.6. Precisión de las muestras

Las muestras generalmente son obtenidas usando los circuitos convertidores analógico a digital (A/D) con precisión de 10 bits. Después del procesamiento de estudio, las varias muestras de luminancia y crominancia serán representadas usando 8 ó 10 bits por muestra, para la luminancia, y 8 bits por muestra para cada componente de crominancia. El límite de precisión del perfil principal del MPEG-2 es de 8 bits por muestra por cada componente de luminancia y crominancia.

### 3.2.2.7. Procesamiento adaptativo de fuente

Las secuencias de imágenes que constituyen la señal de la fuente pueden variar en resolución espacial (480 líneas, 720 líneas ó 1080 líneas), en resolución temporal (60, 30 ó 24 cuadros por segundo), y en formato de exploración (escaneo 2:1 o entrelazado progresivo). El sistema de compresión de video de televisión digital ATSC, acomoda las diferencias en material de fuente para maximizar la eficiencia de compresión.

### 3.2.2.8. Modo película

El material producido en 24 cuadros por segundo, tal como las tomas de película, es típicamente convertido a video de 30 ó 60 cuadros por segundo para multidifusión. En el caso de la televisión entrelazada de 30 cuadros por segundo, significa que cada cuatro cuadros de película son convertidos a 10 campos, o cinco cuadros de video. En el caso de la televisión de exploración progresiva de 60 cps, cada cuatro cuadros de película son convertidos en 10 cuadros de video. Esta conversión es hecha usando la llamada secuencia de paso 3:2; previo a la introducción del equipo de video 24P lo cual fue parte inherente del proceso de telecine.

En la secuencia 3:2, el primer cuadro de película es convertido a dos imágenes (cuadros o campos, dependiendo si el formato de salida es 60P ó 30I respectivamente). El segundo cuadro es convertido a tres imágenes, el tercero a dos imágenes y el cuarto a tres imágenes.

Cuando se describe la secuencia, los cuadros de película son convencionalmente etiquetados A, B, C y D; los campos de video o cuadros 1-5 (entrelazados) ó 1-10 (progresivo). En el caso entrelazado, el tercer campo generado del cuadro A de película es el campo 1 del cuadro 3; el tercer campo generado del cuadro C de película es el campo 2 de Cuadro 5. No que en el caso entrelazado, el Cuadro 3 contendrá video de los cuadros de película B y C y el Cuadro 4 contendrá video de los Cuadros de película C y D.

Es ineficiente codificar estas secuencias directamente; no sólo habrá mucha información repetida, salvo en el entrelazado, los Cuadros 4 y 4 cada uno contienen campos de dos diferentes cuadros de película, de ahí que puede haber diferencias de movimiento entre los dos campos. MPEG por eso aporta recursos o herramientas específicamente para la codificación de estas secuencias; éstas son `top_field_first` y `repeat_first_field`.

Es relativamente sencillo para el codificador detectar los cuadros repetidos en video de exploración progresiva proveniente del material de 24 cuadros por segundo. Es menos sencillo detectar los campos repetidos en video entrelazado. Particularmente con material entrelazado, es importante que la secuencia de paso 3:2 sea mantenida; si esto no es así la eficiencia del codificador y la calidad de la imagen pueden colapsarse. Por esta razón, es convenientemente más común que el material sea editado en 24 Hz antes de la conversión velocidad-cuadro a 30I ó 60P.

### 3.2.2.9. Separación del componente de color y procesamiento

El origen del video de entrada para el sistema de compresión de video del sistema ATSC está en la forma de componentes matriciales RGB (Red-Green-Blue, rojo, verde y azul) en los componentes de luminancia (Y) y crominancia (Cb y Cr) que usan una transformación lineal (una matriz de 3x3). La componente de luminancia representa la intensidad o imagen blanco y negro, mientras las componentes de crominancia contienen la información del color. A pesar de que las componentes originales RGB están altamente correlacionadas una con otra; las señales Y, Cb y Cr resultantes tienen menos correlación y son más fáciles de codificar eficientemente. Las componentes de luminancia y crominancia corresponden al funcionamiento del sistema de visión biológico; esto es, el sistema visual humano responde de otra manera a las componentes de luminancia y crominancia.

El proceso de codificación puede tomar ventaja también de las diferencias en las formas que los humanos perciben la luminancia y crominancia. En el espacio de color Y, Cb y Cr, la mayoría de las frecuencias altas están concentradas en la componente Y; el sistema visual humano es menos sensible a altas frecuencias en las componentes de crominancia que a altas frecuencias en la componente de luminancia. Para explotar estas características las componentes de crominancia son filtradas con un filtro pasobajas en la compresión de video del sistema de televisión digital ATSC y submuestreado por un factor de dos tanto en las dimensiones horizontal como vertical, produciendo componentes de crominancia que son una cuarta parte de la resolución espacial de la componente de luminancia.

Debe destacarse que la componente de luminancia Y no es realmente luminancia, pero este término es usado en la ciencia del color; esto es porque la operación matricial RGB a YC es realizada después que la característica de transferencia (gamma) es aplicada. Por esta razón, algunos expertos se refieren a la componente Y como *luma* más que luminancia. A pesar de que la superioridad de la información de luminancia está presente en la *luma*, algo de ésta termina en el croma, y esto se puede perder cuando los componentes del croma son submuestreados.

- Filtrado antialias (anti-alias)

Las componentes Y, Cb y Cr son aplicadas a filtros pasobajas adecuados que determinan la respuesta en frecuencia de cada una de las tres componentes. Previo al submuestreo horizontal y vertical de las dos componentes de crominancia, éstas pueden ser procesadas por filtros de banda media a fin de evitar el submuestreo.

### 3.2.2.10. Número de líneas codificadas

El sistema de codificación requiere que la imagen codificada tenga un número de líneas que sea un múltiplo de 32 para un formato entrelazado, y un múltiplo de 16 para un formato no entrelazado. Esto significa que para el formato de codificación de 1080 líneas un codificador debe realmente ocuparse de 1088 líneas ( $1088 = 32 \text{ por } 24$ ). Las ocho líneas extras son en efecto líneas “dummy” (de relleno) sin contenido o falsas, y los diseñadores del codificador elegirán datos “dummy” que simplifiquen la implementación. Las líneas extra son siempre las últimas ocho líneas de la imagen codificada. Estas líneas “dummy” no transportan información útil, pero añaden algo a los datos requeridos para la transmisión.



### 3.2.2.11. Secuencias concatenadas

El estándar de video MPEG-2 que está detrás del estándar de televisión digital ATSC especifica claramente el comportamiento de un decodificador de video obediente cuando procesa una secuencia de video única. Una secuencia de video codificada comienza con un encabezado de secuencia, típicamente contiene encabezados repetidos de secuencia y una o más imágenes codificadas, y termina en un código de fin de secuencia. Ciertos parámetros están especificados en el encabezado de secuencia que es requerido para mantener constante toda la duración de la secuencia. Los parámetros de secuencia incluyen, pero no están limitados a:

- Resolución horizontal y vertical.
- Velocidad de cuadro.
- Relación de aspecto.
- Formato de croma.
- Perfil y nivel.
- Indicador progresivo total.
- Tamaño del verificador del tampón (buffer) de video.
- Máxima velocidad binaria.

Se prevé que sea común que flujos de bits codificados sean empalmados para su edición, inserción de avisos comerciales, y otros propósitos en la cadena de producción y distribución de video. Si uno o más parámetros de la secuencia difieren entre los dos trenes de bits para ser empalmados, entonces el código de fin de secuencia debe ser insertado para terminar el primer tren de bits y debe existir un nuevo encabezado de secuencia al principio del segundo tren (a menos que el equipo de inserción sea capaz de escalar aquellos parámetros en tiempo real). Así es que surgen las secuencias de video concatenadas.

Respecto a las secuencias concatenadas, el estándar de video MPEG-2 establece: “El comportamiento del proceso de decodificación y proceso de despliegue para secuencias concatenadas no está en el ámbito de esta Recomendación / Estándar Internacional. Una aplicación que necesita usar secuencias concatenadas debe asegurar convenio privado que el decodificador será capaz de decodificar y reproducir secuencias concatenadas”. Mientras esto es recomendado, el estándar de televisión digital no requiere la producción de secuencias concatenadas por obligación. Las secuencias concatenadas por obligación están definidas de acuerdo a las siguientes características:

- El búfer del decodificador extendido nunca se desborda, y puede sólo estar subutilizado en el caso del flujo de bits de bajo retardo. El “búfer del decodificador extendido” se refiere a la extensión natural del modelo de búfer del decodificador de MPEG-2 para el caso de la decodificación continua de las secuencias concatenadas.
- Cuando la paridad de campo se especificó en dos secuencias codificadas que están concatenadas, la paridad del primer campo en la segunda secuencia es opuesta a aquella del último campo en la primera secuencia.
- Siempre que una secuencia progresiva sea insertada entre dos secuencias entrelazadas, el número exacto de cuadros progresivos sería tal que la paridad de las secuencias entrelazadas se mantuviera como si ninguna concatenación hubiera ocurrido.

### 3.2.2.12. Directrices para la restauración

Mientras el estándar de Televisión Digital ATSC no requiera restauración en menos de la velocidad de restauración del intra-macrobloque como se definió en IEC/ISO 13818-2, se recomienda lo siguiente:

- La información de la capa de secuencia es muy útil y es importante que sea enviada antes de cada cuadro I, independientemente del intervalo entre este tipo de cuadros. El uso de restauración de intra-macrobloques en el decodificador puede mejorar el funcionamiento del cambio de canal del receptor.
- Algunos receptores dependen de la transmisión periódica de cuadros I para la restauración. La frecuencia con que se presentan los cuadros I puede determinar el tiempo de funcionamiento del cambio de canal del receptor. Se recomendó que los cuadros I sean enviados al menos una vez cada 0.5 segundos a fin de tener un funcionamiento aceptable en el cambio de canal en tales receptores.
- A fin de localizar espacialmente errores debido a la transmisión, los segmentos de intracódigo contarían menos macrobloques que el número máximo permitido por el estándar de televisión digital. Se recomendó que ahí estén de cuatro a ocho segmentos en una fila horizontal de intra-macrobloques codificados para los intrasegmentos codificados en la restauración del cuadro I además de las regiones codificadas intracuadro en el caso de la restauración progresiva. El tamaño de los no intrasegmentos codificados puede ser más grande que aquel de los intra-segmentos codificados.

### 3.2.3. Descripción del Formato Activo

La descripción de formato activo (AFD, Active Format Description) resuelve un problema molesto en la transición de dispositivos de despliegue convencional 4:3 a relaciones de aspecto de pantalla ancha 16:9, y también dirige la variedad de relaciones de aspecto que han sido usadas muchos años por la industria de la imagen en movimiento para producir películas.

Existen, por supuesto, una variedad de diferentes tipos de pantallas de visualización de uso común, desde las de tubos de rayos catódicos de relación 4:3 hasta los dispositivos de pantalla ancha y pantallas planas de varios diseños.

Cada uno de estos dispositivos debe tener la capacidad para procesar el video que se recibe. En términos de interfaces de entrada, estos sistemas de visualización pueden además soportar un rango de formatos de señal de entrada desde video compuesto análogo hasta el estándar IEEE 1394 (FireWire).

El equipo fuente de video incluye cajas de adaptación multimedia (set-top box) de cable, satélite o multidifusión terrestre, reproductores multimedia (tales como DVDs), reproductores de cintas VHS análogos o digitales y grabadores de video personal.

Este amplio rango de opciones del consumidor presentó dos problemas para ser resueltos:

- Primero, ningún método estándar había sido convenido para comunicar al dispositivo de visualización el "área activa" de la señal de video. Tal método sería capaz, por ejemplo para señalar que la señal 4:3 contenida dentro de una imagen de video letterbox<sup>1</sup> de relación de aspecto 16:9.

---

<sup>1</sup> Letterbox (a menudo abreviado LBX) quiere decir que se muestra en el formato que tendría en un cine, el cual es más ancho que la TV estándar o panorámica.

- Segundo, ningún método estándar había sido convenido o acordado para comunicar al dispositivo de visualización, para todos los tipos de interfaz, que una imagen dada está planeada para una visualización 16:9.

El AFD resuelve estos problemas y, en el proceso, aporta los siguientes beneficios:

- La señalización de área activa permite al dispositivo de visualización procesar la señal entrante para lograr la más alta resolución y la imagen más precisa posible. Además, la visualización puede tomar la ventaja del conocimiento de ciertas áreas de video que están actualmente en desuso y puede poner en práctica algoritmos que reduzcan los efectos de envejecimiento irregular de la pantalla.
- La señalización de la relación de aspecto permite al dispositivo de visualización producir la mejor imagen posible. En algunas posibles situaciones, la ausencia del método de señalización se traduce a restricciones en la capacidad del dispositivo fuente para entregar formatos de salida seguros de otra manera atractivos.

### 3.2.3.1. Señalización del área activa

Un dispositivo consumidor como una caja decodificadora de cable o de satélite no puede formalmente determinar el área activa del video que aporta. Aunque con certeza las líneas en la parte superior e inferior de la pantalla pueden ser negras por ciertos periodos de tiempo, la situación podría cambiar sin previo aviso. La única manera segura para conocer el área activa es por el proveedor de servicio que incluye este dato en la compresión de tiempo de video e incrustarlo dentro del flujo (stream) de video.

La figura 3.2.2 muestra las imágenes codificadas 4:3 y 16:9 con varias áreas activas posibles.

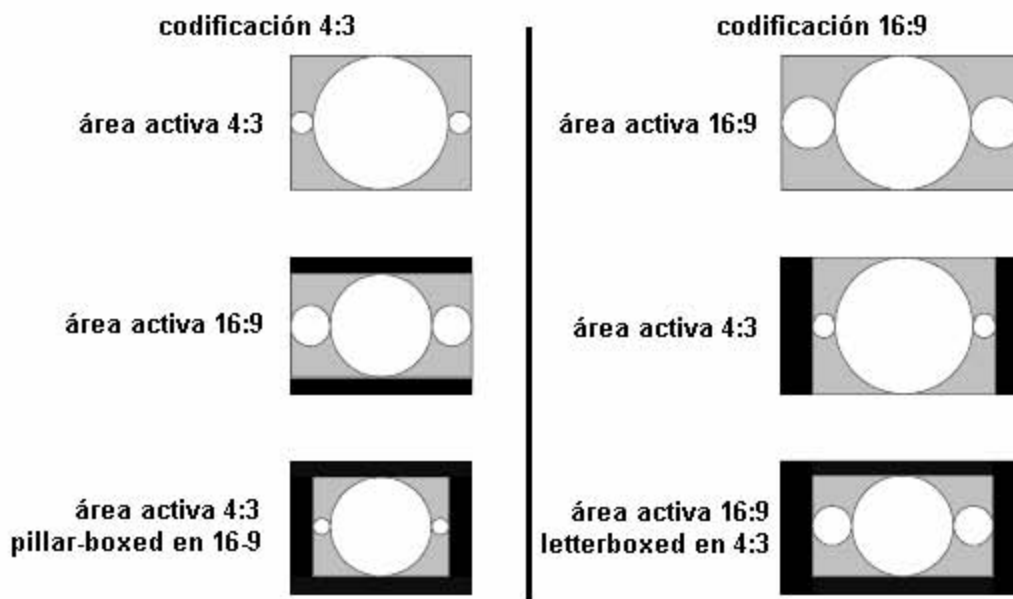


Figura 3.2.2. Codificación y área activa.

El grupo de imágenes de la izquierda o es codificado explícitamente en la sintaxis de video de MPEG-2 como 4:3, o la señal descomprimida proporcionada en sincronía de NTSC y relación de aspecto (si está presente) indica 4:3.

Las del grupo de la derecha o están codificadas explícitamente en la sintaxis de video MPEG-2 como 16:9, suministradas con sincronización NTSC y una relación de aspecto que indica 16:9, o descomprimidas con sincronización 16:9 a través de la interfaz.

Como puede verse en la figura, se obtiene una columna (pillar) cuando un área activa 4:3 se despliega dentro de un área 16:9, y una visualización letterbox resulta cuando un área activa 16:9 se despliega dentro de un área 4:3. También es claro que una visualización con forma de recuadro puede presentarse, por ejemplo cuando un material 4:3 se entrega dentro de un letterbox 16:9 para una visualización 4:3. O, cuando un material en 16:9 es liberado con visualización de recuadro en una pantalla 16:9.

Los dos casos de recuadro doble pueden presentarse como resultado de una pobre o deformada elección de producción hecha por el proveedor del servicio, en algunos casos conjuntamente con el proveedor de contenido. Siempre que el material 4:3 sea codificado como 16:9, el doble recuadro ocurre cuando la visualización 4:3 coloca el cuadro codificado 16:9 en la pantalla. Siempre que el material 16:9 es codificado como 4:3, el doble recuadro ocurre cuando la visualización 16:9 despliega una columna en el cuadro 4:3 codificado.

Una situación común que ocasionará recuadro doble sobre una visualización de televisión digital 16:9 ocurre cuando una señal 4:3 NTSC es codificada como video 480i de MPEG, pero la imagen NTSC es una película con formato letterbox. A pesar de ello, dos aspectos del problema son de principal importancia:

- El dispositivo de visualización no esperaría al proceso de imagen de doble recuadro para llenar la pantalla para compensar incorrectamente el contenido codificado.
- Los proveedores de contenido y servicio deberían entregar el contenido codificado propiamente. El contenido original 4:3 debe ser entregado y codificado como 4:3. El contenido original 16:9 debe ser entregado y codificado como 16:9. El video en NTSC de pantalla ancha y formato letterbox no debería ser codificado como 4:3, pero debería ser codificado dentro de un cuadro codificado en 16:9. (El contenido en formato letterbox dentro de un cuadro 4:3 resulta en una resolución vertical menor que la definición de televisión estándar).

#### 3.2.3.2. Estándares actuales

Muchos estándares de la industria incorporan algo de información del área activa, incluyendo la descripción de formato activo (AFD) del estándar DVB y la norma EIA-608-B. El estándar EIA-608-B es aplicable sólo para video analógico NTSC.

Las películas en formato letterbox se pueden ver actualmente por canales de cable, satélite o televisión terrestre. Si uno observa de cerca, se puede apreciar una variación de consideración en el tamaño de las zonas de barras negra. De hecho las variaciones pueden ser vistas aun sobre el transcurso de una película.

Como se mencionó antes, un dispositivo de visualización puede pretender atenuar los efectos de una pantalla vieja sustituyendo video gris por áreas oscuras o negras. Sin embargo llevar a cabo esta tarea es algo complejo y a veces imposible de realizar.

Ante esto dos propuestas son posibles. Primero, incluir –sobre una base cuadro por cuadro- un parámetro de video identificando el número de líneas negras (para el formato letterbox) o el número de píxeles negros (para la columna). Segundo, estandarizar solamente dos relaciones de aspecto: 16:9 y 4:3.

### 3.3. Características del subsistema de audio

El subsistema de audio estándar ATSC es el encargado de realizar la función de codificación y decodificación de la señal de audio en el transmisor y receptor respectivamente. En la figura 3.3.1 se puede observar el esquema básico de las etapas que atraviesa la señal de audio durante su transmisión y recepción para este estándar ATSC de televisión digital terrestre.

Primeramente, el codificador de audio es el responsable de generar la trama elemental de audio (audio elementary stream), el cual es una representación codificada de la señales de audio en banda base de entrada (se puede usar más de un codificador dentro del sistema). La flexibilidad del sistema de transporte permite que múltiples tramas elementales de audio puedan ser entregados en el receptor, en este punto la señal de audio codificada se pone en paquetes PES (Packetized Elementary System) y después en paquetes de transporte. En el subsistema de transmisión se lleva a cabo la modulación en radiofrecuencia de estos paquetes de transporte para ser transmitidos posteriormente. En el receptor el subsistema de transmisión es el encargado de demodular la señal, después el subsistema de transporte se encarga de convertir los paquetes de audio recibidos de regreso a las tramas elementales de audio, las cuales finalmente son decodificados y vuelven a quedar en su forma original de banda base.

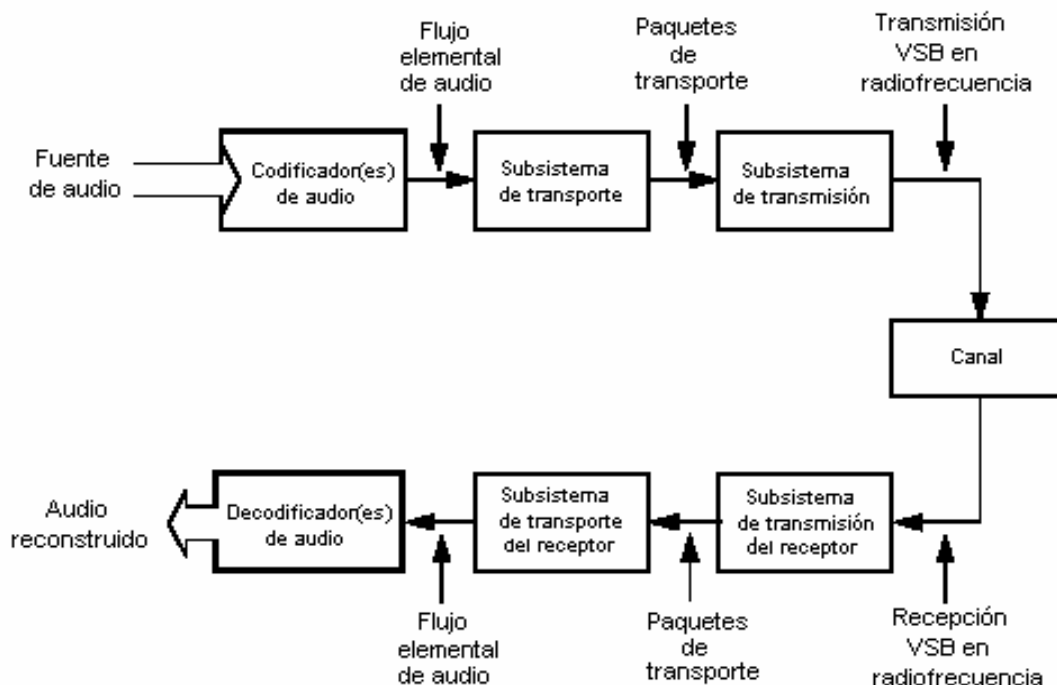


Figura 3.3.1. Subsistema de audio del estándar de televisión digital ATSC.

El sistema de compresión de audio que se determinó como adecuado para el estándar ATSC de televisión digital fue el AC-3 (ó Dolby Digital). El documento de ATSC sobre esta parte es el A/52. Los principios de compresión de audio generales, así como algunas de las características de esta técnica de compresión ya fueron mencionadas anteriormente (capítulo 2). A continuación veremos un poco más a fondo cómo se realiza la codificación mediante esta técnica, de acuerdo al estándar ATSC.

### 3.3.1 Operación del estándar AC-3

El sistema de compresión de audio AC-3 consiste de tres operaciones básicas como se ilustra en la figura 3.3.2. En la primera etapa, en el banco de filtro de análisis, la representación de la señal de audio es cambiada del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, el cual es un dominio más eficiente para desarrollar la compresión de audio basada en el sistema psicoacústico. Los coeficientes del dominio de frecuencia resultantes de esta etapa son después codificados. Estos después deben de ser cuantificados de una manera severa debido a que el ruido de cuantización estará a la misma frecuencia de la señal de audio, y se aceptan bajas relaciones S/N relativas debido al fenómeno de enmascaramiento psicoacústico.

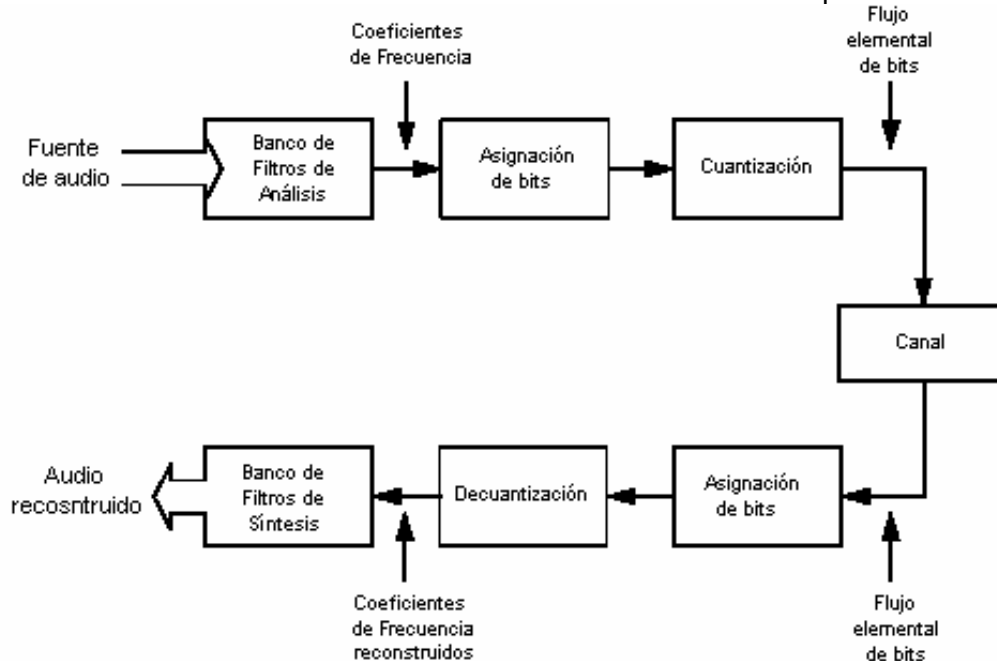


Figura 3.3.2 Vista general del sistema de compresión de audio.

Basado en el modelo psicoacústico del oído humano, una operación de asignación de bits determina la relación S/N actual aceptable para cada coeficiente de frecuencia individual. Finalmente, los coeficientes en frecuencia, una vez que se determinó la relación S/N aceptable para cada coeficiente, se cuantifican con la precisión necesaria y son formateados para tener un cuadro elemental de audio.

La unidad básica del audio codificado es el *cuadro de sincronía AC-3 (AC-3 sync frame)*, el cual representa 1536 muestras de audio. Cada cuadro de sincronía de audio es una entidad codificada independiente. La trama elemental de datos contiene la información necesaria para permitir al decodificador de audio realizar una operación idéntica de asignación de bits en el codificador. Esto permite al decodificador desempaquetar y descuantificar los coeficientes de frecuencia de la trama elemental de bits. Finalmente el banco de filtros de síntesis es la parte inversa del filtro de análisis, y éste convierte los coeficientes de frecuencia reconstruidos de regreso al dominio del tiempo.

### 3.3.2 Codificador AC-3

En el diagrama de la figura 3.3.2 sólo se mostraba una vista general de los procesos que se llevan a cabo en la codificación y decodificación de la señal de audio en AC-3. Sin embargo,

dentro de esos mismos bloques se encuentran otra serie de funcionalidades que permiten que se realice la codificación y decodificación. Primeramente se mostrarán los procesos principales del codificador AC-3. En la figura 3.3.3 se muestra un diagrama a bloques desglosado del codificador AC-3.

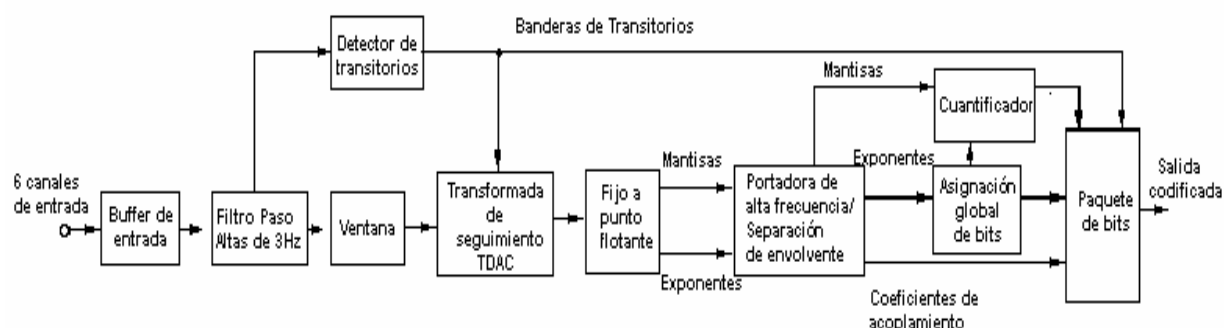


Figura 3.3.3. Diagrama funcional de bloques desglosado del codificador AC-3.

El codificador AC-3 está estructurado por bloques, por lo tanto, en lo que respecta al buffer de entrada, éste colecta uno o más bloques (de cada canal) de señales en el dominio del tiempo; cada bloque contiene típicamente un total de 512 muestras. Después se hace necesaria la inclusión del filtro paso altas con una frecuencia de corte de 3 Hz, éste filtro tiene la única finalidad de remover la componente de directa (la señal del subwoofer se filtra con un paso bajas por encima de los 120 Hz).

En los siguientes puntos se realizará una breve descripción de las etapas restantes del procesamiento de la señal de audio del codificador.

### 3.3.2.1 Banco de filtros de transformación

El proceso de convertir una señal de audio del dominio de tiempo al dominio de la frecuencia requiere que el audio sea puesto en bloques de 512 muestras, esto se realiza en el buffer de entrada como se mencionó en el punto anterior. Por cada 256 nuevas muestras de audio, se forma un bloque de 512 muestras con estas 256 nuevas muestras y con 256 muestras previas (traslape entre bloques). De esta forma, cada muestra de audio está representada en dos bloques de audio (se repite en dos bloques), por lo tanto el número de muestras a ser procesadas se duplica inicialmente. Este traslape de bloques es necesario para prevenir artefactos de bloqueo audibles. Cada bloque de audio es formado cada 5.33 ms. Un grupo de seis bloques (1536 muestras) es codificado en un cuadro de sincronía AC-3.

#### 3.3.2.1.1 Función Ventana

Antes de que el bloque de 512 muestras sea transformado en el dominio de la frecuencia, estas muestras son ventaneadas o enmarcadas (windowed). Esta operación involucra una multiplicación vectorial del bloque de 512 puntos con una función de ventana de 512 puntos. La función de ventana tiene un valor de 1.0 en el centro, disminuyendo a casi cero en sus extremos. La forma de la función ventana es tal que el procesamiento de traslape/suma en el decodificador resultara en una reconstrucción libre de artefactos bloqueadores de audio. La forma de esta función también determina la forma de cada filtro del banco de filtros.

### 3.3.2.1.2 Transformada de Cancelación del Traslape en el Dominio del Tiempo (Transformada TDAC-Time Domain Aliasing Cancellation)

El banco de filtros de análisis está basado en la transformada rápida de Fourier (FFT). La transformación particular empleada es la transformada TDAC de apilamiento impar. Esta transformación particular es ventajosa debido a que permite remover el 100% de redundancia que fue introducida en el proceso de formación de bloques. La entrada de la transformada TDAC son 512 puntos ventaneados o enmarcados en el dominio del tiempo y la salida son 256 coeficientes en el dominio de la frecuencia.

### 3.3.2.1.3 Manejo de transitorios

Cuando existen fuertes transitorios en el dominio del tiempo, hay una posibilidad de que el error de cuantización, incurrido en que los coeficientes de frecuencia del transitorio se cuantifiquen severamente, se haga audible como resultado del manchado de tiempo (time smearing). El error de cuantización dentro de un bloque de audio codificado se reproduce a través del bloque. Es posible que esta porción del error de cuantización reproducida antes del impulso sea audible.

Esto puede ser reducido alterando la longitud de la transformada que es realizada. Una longitud de transformada grande es más adecuada para las señales de entrada cuyo espectro permanece estacionario o varía lentamente con el tiempo. Se logra una resolución en frecuencia más grande mejorando el desempeño de codificación para dichas señales. Por otro lado, una transformada corta posee una resolución temporal mejor y se usa para señales que cambian rápidamente en el tiempo.

De esta forma, en vez de realizar una transformada de 512 puntos, se realiza un par de transformadas de 256 puntos, una en las primeras 256 muestras enmarcadas y otra en las últimas 256 muestras enmarcadas. Un detector transitorio en el codificador determina cuándo alterar la longitud de transformada. La reducción en la longitud de la transformada previene que el error de cuantización se extienda más que unos pocos milisegundos en el tiempo, lo cual es suficiente para prevenir la audibilidad de éste.

### 3.3.2.2 Representación del audio codificado (Conversión a Punto flotante)

Los coeficientes de frecuencia que resultan de la transformación se convierten a una notación binaria de punto flotante. La escala de la transformación es tal que todos los valores son menor que 1. De esta manera, la representación de los números de punto flotante va a constar de un exponente y una mantisa, los cuales son codificados dentro de la trama de bits.

Primero, los exponentes de los seis bloques en un cuadro de sincronización AC-3 son examinados para tener las diferencias entre bloque y bloque. Si las diferencias son pequeñas, se genera un solo conjunto de exponente que sea aplicable a los seis bloques y de esta manera reducir la cantidad de datos a codificar por un factor de 6. Si los exponentes tienen cambios significativos dentro del cuadro, los grupos de exponentes se forman sobre los bloques donde los cambios no son significativos, y los demás se codifican de manera diferencial en frecuencia: el primer exponente se codifica como un absoluto y la diferencia entre el exponente actual y el siguiente es lo que se codifica. Cuando el espectro es relativamente plano, o un grupo de exponentes sólo cubre 1 ó 2 bloques, los exponentes diferenciales pueden ser compartidos por 2 ó 4 coeficientes de frecuencias.

La eficiencia final de codificación para los exponentes en AC-3 es típicamente 0.39 bits/exponente o 0.39 bits/muestra ya que hay un exponente por cada muestra.



Los coeficientes de frecuencia producidos por el banco de filtros de análisis tienen una precisión que depende de la longitud de palabra de las muestras de audio PCM de entrada así como de la computación de la transformación. La precisión está en el orden de 16 a 18 bits, pero puede ser tan alta como de 24 bits. Cada mantisa se cuantifica con una precisión de 0 a 16 bits. Debido a que la meta de la compresión es maximizar la calidad de audio a una tasa de bits dada, se requiere una óptima asignación de los bits disponibles a cada mantisa.

### 3.3.2.3 Asignación de bits

El número de bits asignados a cada mantisa individual está determinado por la rutina de asignación de bits. Tanto en el codificador como en el decodificador se ejecuta una rutina idéntica, para que cada uno genere una asignación de bits igual. El algoritmo de asignación de bits puede ser adaptable de reversa o adaptable hacia delante.

Se considera como adaptable hacia atrás, cuando algo de la información de audio codificada dentro de la trama de bits (realimentado en el codificador) se usa para calcular la asignación final de bits. En el decodificador, la entrada primaria de la rutina de asignación son los valores de los exponentes decodificados, los cuales dan una imagen general del espectro de la señal. De esta versión del espectro de la señal, se calcula una curva de enmascaramiento. El cálculo del modelo de enmascaramiento se basa en un modelo del sistema auditivo humano. La curva de enmascaramiento indica, como función de la frecuencia, el nivel de error de cuantización que puede ser tolerado.

En el caso de una asignación adaptable hacia adelante, el codificador AC-3 puede emplear un modelo psicoacústico más sofisticado que el que se usa en el decodificador. La rutina de asignación es usada por ambos, el codificador y el decodificador hace uso de un número de parámetros ajustables. Si el codificador emplea un modelo psicoacústico más sofisticado que el de la rutina base, el codificador puede ajustar estos parámetros de manera que la rutina produzca un mejor resultado. Los parámetros son insertados dentro de la trama de bits por el codificador y son alimentados (fed forward) al decodificador.

En el caso de que los parámetros de asignación de bits disponibles no permitan la generación de una asignación ideal, el codificador puede insertar códigos explícitos dentro de la trama de datos para alterar la curva de enmascaramiento calculada y por lo tanto la asignación final de bits. Los códigos insertados indican cambios en la asignación base y son referidos como códigos delta de asignación de bits.

### 3.3.2.4 Acoplamiento

En el caso de que el número de bits requeridos para codificar las señales de audio exceda el número de bits disponibles, el codificador puede tener la función de acoplamiento (coupling).

El acoplamiento, de manera que se pueda lograr la reducción de los datos necesarios para codificar una señal de audio de alta calidad en múltiples canales, toma ventaja de la misma manera en que el oído humano determina una direccionalidad para señales de alta frecuencia. A señales de audio de alta frecuencia (arriba de 2 kHz aproximadamente) el oído humano es incapaz de detectar los ciclos individuales de una onda de audio, y por lo tanto responde a la envolvente de la onda. No puede detectar independientemente la dirección de dos señales de alta frecuencia que estén muy poco espaciadas en frecuencia.

El acoplamiento realiza la combinación de los contenidos de alta frecuencia de canales individuales (se acoplan los canales). La frecuencia en la que empieza el acoplamiento se llama frecuencia de acoplamiento. Los canales acoplados se combinan dentro de un canal común o

de acoplamiento por encima de la frecuencia de acoplamiento. Después se envían las envolventes de señal de los canales individuales junto con el canal combinado de acoplamiento.

Tanto la frecuencia de acoplamiento como los canales que participan en el proceso son determinados por el codificador. Éste también determina la estructura de bandas de frecuencia usadas para el proceso de acoplamiento. Para cada canal acoplado y cada banda de acoplamiento, el codificador crea una secuencia de coordenadas de acoplamiento. Las coordenadas de acoplamiento, para un canal particular, indican la fracción del canal de acoplamiento común que deben ser reproducidas en la salida de ese canal particular. Las coordenadas de acoplamiento representan las envolventes de señal individuales para los canales. El codificador también determina la frecuencia con la que estas coordenadas son transmitidas, así como qué tan seguido se envían (puede ser tan a menudo como cada bloque, es decir cada 5.3 ms). Si la envolvente de señal está sostenida, las coordenadas de acoplamiento no necesitan ser enviadas en cada bloque, pero pueden ser reusadas por el decodificador hasta que se envíen nuevas coordenadas

### 3.3.3 Sintaxis y elementos de la trama de bits

La trama de datos del AC-3 codificado está formada por una secuencia de cuadros de sincronización. La estructura del cuadro de sincronización se observa en la figura 3.3.4.

Cada cuadro de sincronización contiene seis bloques de audio codificados, cada uno de los cuales representa 256 muestras nuevas de audio. Al inicio de cada cuadro se tiene una cabecera de información de sincronización (SI) que contiene la información necesaria para adquirir y mantener la sincronización. Después, detrás de cada cabecera SI sigue la cabecera de información de la trama de bits (BSI), ésta contiene los parámetros que describen el servicio de audio codificado. Posteriormente se encuentran los 6 bloques de audio mencionados (AB 0 a 5), y éstos son seguidos por un campo de datos auxiliares. Al final de cada frame se añade un campo de verificación de errores que incluye una palabra CRC para detección de errores. Una palabra adicional CRC puede ser usada en la cabecera SI, pero es opcional.



Figura 3.3.4. Cuadro de sincronización AC-3.

En el caso de la detección de errores, el decodificador puede hacer uso de las banderas de error provistas por el sistema de transporte. En el caso de que se detecte un error, el decodificador puede tratar de realizar un encubrimiento o puede simplemente silenciarse.

### 3.3.4 Empalme e inserción

El lugar ideal para realizar la inserción de las tramas de audio codificadas es en el límite del cuadro de sincronización. Si una trama de datos se acopla de esta manera, la decodificación de audio procederá sin interrupciones. Por otro lado, si el empalme se realiza de manera aleatoria habrá una interrupción de audio. El frame que esté incompleto no pasará la prueba de detección de errores del decodificados y causará que el decodificador quede en silencio. No

encontrará la sincronización del siguiente bloque en su lugar correcto y por lo tanto entrará en un modo de búsqueda de sincronización. Una vez que se encuentra el código de sincronización de la nueva trama se continuará con la reproducción. El orden de esta interrupción será de cerca de 64 ms (2 cuadros). Excepto por este tiempo en que el audio se silencia, el efecto de un empalme aleatorio en una trama elemental de AC-3 es relativamente benigno.

### 3.3.5 Decodificador de AC-3

El proceso de decodificación es prácticamente la realización de las operaciones inversas realizadas en el codificador. En la figura 3.3.5 se muestra el diagrama a bloques desglosado de un decodificador AC-3. En el buffer de entrada se presenta la trama de bits de AC-3.

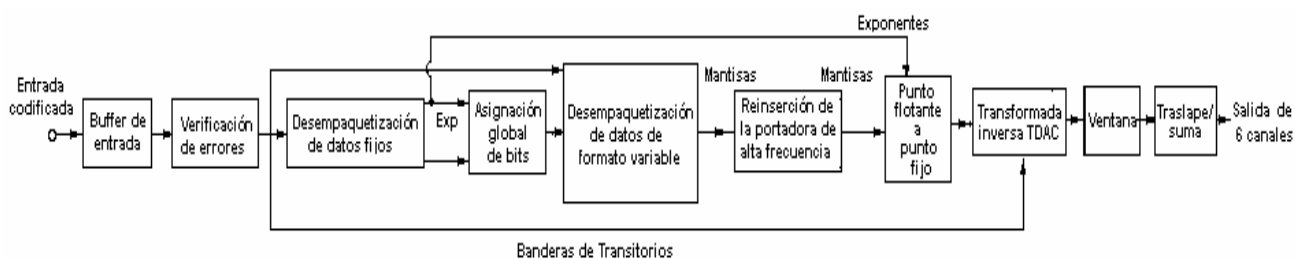


Figura 3.3.5. Diagrama de bloques de los procesos del decodificador de audio AC-3.

**Verificación de errores.** Como se acaba de observar en la sección 3.3.4, el cuadro de sincronización de AC-3 termina con un código de 16 bits CRC para la corrección de errores. El decodificador usa este código para determinar cuando un cuadro de audio ha sido dañado o está incompleto. En caso de que se detecte el error, el decodificador puede intentar ocultar este error o simplemente silenciarse.

**Desempaquetado de datos.** El desempaquetado de datos o demultiplexaje se hace de dos formas. Primero, se demultiplexan los datos de formato fijo, donde se incluyen los exponentes, coordenadas de acoplamiento y la banderas de modo. De aquí se usan porciones relevantes de estos datos para recuperar la asignación de bits, lo cual es usado a su vez para desempaquetar los datos de formato variable.

**Asignación de bits.** En esta parte del decodificador se recuperan el número de bits que se usan para cada mantisa. La entrada de este bloque son los exponentes decodificados. Las salidas del proceso de asignación de bits es un grupo de apuntadores de asignación de bits (BAP- Bits Allocation Pointers), uno por cada mantisa codificada. Los BAPs indican la cuantificación o número de bits en la trama de bits que fueron usados para cada mantisa. Los datos de la mantisa se desempaquetan tomando grupos de bits como lo indican los BAPs.

**Desacoplamiento o reinserción de la portadora de alta frecuencia.** Cuando se usa el acoplamiento, los canales que se acoplaron en el codificador necesitan desacoplarse. Esta función involucra la reconstrucción de la sección de alta frecuencia (exponentes y mantisas) de cada canal acoplado. Se realiza a partir del canal común de acoplamiento y las coordenadas de acoplamiento para cada canal individual. Dentro de cada banda de acoplamiento, los coeficientes de acoplamiento de canal (exponentes y mantisas) se multiplican por las coordenadas de acoplamiento de canal individuales.

**Conversión a punto fijo.** En preparación para la transformada inversa TDAC, los datos de mantisa y exponente se combinan para reconstruir los coeficientes TDAC de punto fijo.

**Transformada inversa TDAC.** A cada uno de los coeficientes TDAC recuperados de cada canal se les aplica una transformada inversa para regresarlos al dominio del tiempo.

**Ventana.** Los bloques individuales de muestras de tiempo deben de ser enmarcados, y los bloques adyacentes son traslapados y sumados juntos para reconstruir la señal de audio PCM final continua en el tiempo.

**Mezclado hacia abajo (downmixing).** Esta es una etapa adicional que se usa si el número de canales requeridos en la salida del decodificador es menor que el número de canales que se codifican en la trama de bits. Debido a que la transformada inversa es una operación lineal, también es posible incluir esta etapa antes de la transformación para realizarla en el dominio de la frecuencia.

**Buffer de salida PCM.** Éste se requiere generalmente debido a que después del proceso de decodificación se tienen bloques de muestras, en este caso se tienen bloques de muestras PCM a la velocidad en que fueron muestreadas. Estas muestras son entregadas de una forma adecuada para la interconexión con un convertidor analógico digital o en alguna otra forma requerida por el receptor.

### 3.3.6 Servicios del sistema de audio

El subsistema de audio ofrece una variedad de servicios y funcionalidades para distintas aplicaciones. Existen los servicios de audio principales y los servicios de audio asociados. En total existen dos tipos de servicio principal y seis tipos de servicio asociado. Un flujo elemental de AC-3 contiene la representación codificada de un solo servicio de audio. Los servicios de audio múltiples se tienen que proveer con múltiples flujos elementales. De esta manera cada flujo elemental está etiquetado con un tipo de servicio, así como a un código de lenguaje. Los servicios asociados se etiquetan especificando a qué servicio o servicios de audio principales está asociado. Cada flujo elemental es llevado por la etapa de multiplexaje y transporte con una identificación de programa (PID) única.

Los servicios asociados pueden contener mezclas de programas completos o únicamente un solo elemento de programa. Los servicios asociados que contienen un solo elemento de programa están pensados para que sean combinados con los elementos de programas de un servicio de audio principal. En general, un programa completo de audio, el cual es presentado a través de las bocinas, puede consistir en un servicio principal de audio, un servicio asociado de audio que es una mezcla completa, o un servicio de audio principal combinado con un servicio de audio asociado.

Los servicios principales de audio son:

**Servicio Principal de Audio Completo (CM).** El tipo CM de los servicios de audio principales contiene un programa completo de audio (música, efectos y diálogos). Este es el tipo de servicio que normalmente se proporciona. Puede contener de 1 a 5.1 canales de audio y puede ser mejorado con alguno de los tipos de canales asociados.

**Servicio Principal de Audio, Música y Efectos (ME).** El tipo de servicio de audio principal ME contiene la música y los efectos especiales de los programas de audio, pero no contiene el diálogo para el programa. De igual forma puede proporcionar de 1 a 5.1 canales de audio. El programa principal de diálogo no lo tiene, pero si existe puede ser proporcionado codificando uno de los servicios adicionales (el de diálogo).

Los servicios asociados de audio son:

**Visualmente dañado (VI).** El servicio asociado VI contiene una descripción narrativa del contenido visual del programa. En este caso, el servicio VI es un solo canal de audio. La reproducción simultánea de este servicio junto con el servicio principal CM permite al usuario con visión dañada el disfrutar el programa de audio multicanal principal y seguir auditivamente la actividad que sucede en la imagen.

**Audición dañada (HI).** El servicio asociado HI contiene sólo diálogo que se reproduce simultáneamente con el servicio principal CM. El diálogo puede estar procesado para mejorar la inteligibilidad para usuarios que tienen una audición dañada. De esta manera la reproducción de ambos servicios simultáneamente permite a los usuarios con problemas auditivos escuchar la mezcla de los servicios CM y HI de manera que se enfatice el diálogo, al igual que se siguen proporcionando la música y efectos especiales. En este caso el servicio HI es un solo canal de audio, sin embargo también puede ser proporcionado como una mezcla completa de programa completo conteniendo música, efectos y diálogo con una inteligibilidad mejorada. Para este caso, el servicio puede ser codificado usando cualquier número de canales (hasta 5.1).

**Diálogo (D).** El servicio asociado D contiene el diálogo de programación que se usa con el servicio principal de audio ME. El lenguaje del servicio D se indica en el flujo de bits de AC-3. Un programa completo de audio se forma decodificando el servicio D y el servicio ME simultáneamente, después se mezcla del servicio D en el canal central del servicio principal ME. Si el servicio principal de audio contiene más de 2 canales de audio, el servicio D es entonces monofónico.

Si el sistema de audio principal ME contiene dos canales, el servicio D puede también contener dos canales. En este caso, un programa completo de audio se forma nuevamente decodificando el servicio D y el servicio ME simultáneamente, después se mezcla el canal izquierdo del servicio ME con el canal izquierdo del servicio D, y el derecho del servicio ME con el derecho del servicio D. Esto resulta en una señal de estéreo de dos canales conteniendo música, efectos y diálogo.

El audio en muchos lenguajes puede proporcionarse con múltiples servicios D, cada uno en diferente lenguaje, junto con un solo servicio ME. Esto resultaría más eficiente que proveer múltiples servicios CM.

**Comentarios (C).** El servicio asociado de comentarios es muy similar al servicio D, excepto que en vez de llevar el diálogo esencial del programa lleva comentarios opcionales del programa. El servicio C puede ser un solo canal de audio conteniendo los comentarios, en este caso la reproducción simultánea del servicio C y el servicio CM permite el que se escuchen los comentarios adicionales al programa. También puede ser proporcionado como una mezcla de programa completo conteniendo música, efectos, dialogo y comentarios. En este caso el servicio se puede proporcionar usando cualquier número de canales.

**Emergencia (E).** El canal asociado está con la intención de permitir la inserción de anuncios de alta prioridad. Este servicio siempre es en un solo canal de audio y se le da prioridad en el transporte y decodificación de la señal. Siempre que el servicio E está presente se le entrega al decodificador de audio, en cuanto éste lo recibe, detiene la reproducción de cualquier servicio principal y reproduce únicamente el servicio E a través del canal central (si no hay canal central lo hace a través de los canales izquierdo y derecho). También puede ser usado para aplicaciones de no emergencia o cuando el radiodifusor desee que todos los decodificadores paren de reproducir el programa principal de audio y que en su lugar se reproduzca un canal de audio de mayor prioridad.

### 3.3.7 Tasas de bits típicas

El tamaño del búfer de entrada del decodificador está determinado por la máxima tasa de bits que debe ser decodificada. La sintaxis del estándar AC-3 permite tasas de bits desde 32 kbps hasta un máximo de 640 kbps por cada flujo elemental de bits. La tasa de bits utilizada en televisión digital está limitada de manera que se pueda reducir el tamaño del búfer de entrada del decodificador de audio, y por lo tanto también el costo. Se puede esperar que los receptores soporten la decodificación de un servicio principal de audio, o un servicio asociado de audio el cual es un servicio completo (conteniendo todos los elementos de programa necesarios) a una

tasa de bits de hasta 448 kbps. En la tabla 3.3.1 se muestran las tasas de bits típicas dependiendo de los servicios de audio que se proporcionen en el transmisor y el número de canales que ocupen. [2][3][32][33][37]

Tabla 3.3.1. Tasas de bits típicas para los servicios de audio.

<b>Tipo de servicio</b>	<b>Número de canales</b>	<b>Tasas de bits típicas (kbps)</b>
CM, ME, o servicios asociados conteniendo todos los elementos de programa necesarios	5	384-448
CM, ME, o servicios asociados conteniendo todos los elementos de programa necesarios	4	320-384
CM, ME, o servicios asociados conteniendo todos los elementos de programa necesarios	3	192-320
CM, ME, o servicios asociados conteniendo todos los elementos de programa necesarios	2	128-256
VI, únicamente narrativo (asociado a un servicio principal de audio)	1	64-128
HI, únicamente narrativo (asociado a un servicio principal de audio)	1	68-96
D (asociado a un servicio principal de audio)	1	64-128
D (asociado a un servicio principal de audio)	2	96-192
C, comentarios únicamente (asociado a un servicio principal de audio)	1	64-128
E (asociado a un servicio principal de audio)	1	64-128

### 3.4. Características del sistema de transporte y multiplexaje

El estándar del sistema MPEG-2 incluye un mecanismo para llevar flujos continuos de datos (flujo de bits de audio comprimido, video comprimido y datos) de una manera confiable y eficiente en tiempo real sobre una variedad de redes y en la radiodifusión terrestre. Cada flujo de bits (elemento de programa) es segmentado en paquetes de longitudes variables llamadas paquetes de flujos elementales empaquetados (paquetes PES-Packetized Elementary Bit Streams), los cuales son llevados en el flujo de transporte MPEG-2 y después son reensamblados en el receptor. Los paquetes PES de MPEG-2 se usan para segmentar y encapsular los flujos elementales (unidades de acceso) como el video codificado, el audio codificado y flujos privados de datos, junto con la información de sincronización de flujo. Los flujos elementales son manejados independientemente en paquetes PES separados; por lo tanto un paquete PES contiene información de uno y solo un flujo elemental. Posteriormente, un paquete PES es segmentado en paquetes de longitud fija llamados paquetes de transporte de flujo (TS-stream packet) MPEG-2. Este grupo de paquetes TS comparten un único identificador de paquete (PID).

El paquete PES de MPEG-2 consiste de una cabecera seguido de una carga útil (payload). En la figura 3.4.1 se muestra un diagrama ilustrativo de cómo se pasan de los elementos de programa del flujo elemental a los paquetes PES para formar el flujo elemental empaquetado.

Como se puede apreciar, la carga útil consiste simplemente en bytes de datos tomados secuencialmente desde el flujo elemental original. Cada paquete PES puede tener una longitud variable.

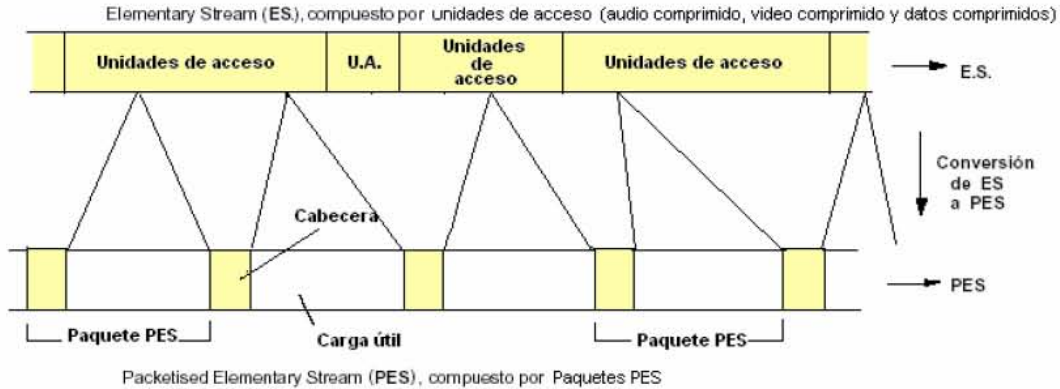


Figura 3.4.1. Conversión de un flujo elemental (ES) a un flujo elemental empaquetado (PES).

También cuenta con un campo de longitud que permite conocer el tamaño del paquete PES, el cual puede tener como máximo 65,536 bytes, o en el caso de un flujo elemental de video, el tamaño puede ser indicado como ilimitado únicamente poniendo el campo de longitud en cero (en el estándar A/53 se especifica que un paquete PES puede contener únicamente un cuadro codificado de video y se señala como ilimitado con el valor de campo de longitud de 0x0000) [3]. Esta flexibilidad en la longitud de los paquetes PES puede ser explotada por los diseñadores de diferentes maneras, ya que pueden usarse paquetes de longitud fija si interesa, o pueden ser de longitud variable de forma que siempre coincida el inicio de una unidad de acceso con el comienzo de la carga útil de cada paquete PES.

### 3.4.1 Cabecera del paquete PES

La figura 3.4.2 muestra los campos que comprende la cabecera de un paquete PES. Dicha cabecera tiene longitud variable, e incorpora a su vez datos para autoinformar de su longitud.

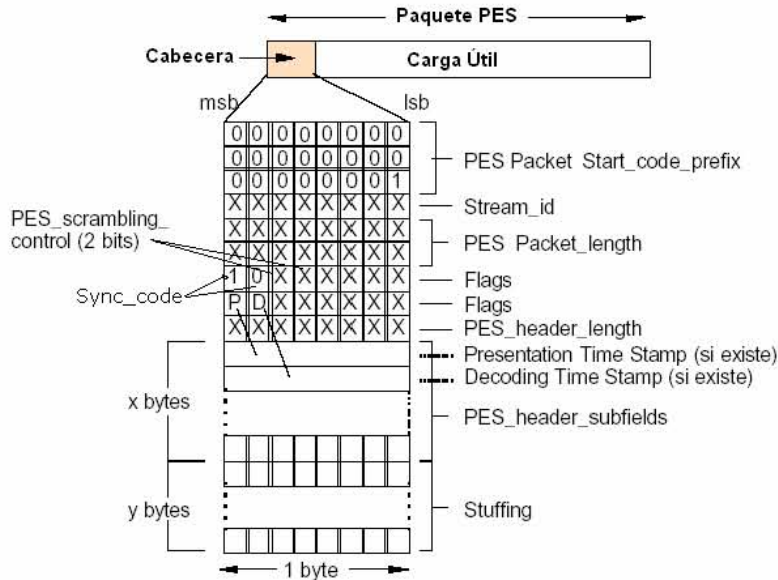


Figura 3.4.2. Cabecera del paquete PES.

A continuación se describirán las funciones de los principales campos de la cabecera:

➤ **Código de inicio del paquete PES (Start\_Code\_Prefix)**

Los primeros 4 bytes, es decir el “*PES-packet start code prefix*” más el “*Stream\_id*” constituyen el “*PES-Packet start code*”. Debe garantizarse que esta combinación de 32 bits únicamente aparece en el comienzo de la cabecera de un paquete PES, excepción hecha de los datos de tipo *privado*.

El byte “*Stream\_id*” permite distinguir los paquetes PES pertenecientes a los diferentes flujos elementales de un mismo programa. MPEG especifica los valores permitidos para este campo, disponiéndose de 32 valores para flujo elemental de audio y de otros 16 valores para flujo elemental de vídeo.

➤ **Banderas**

Las banderas tienen un total de 14 bits, los primeros dos bits indican si hay cifrado o no con las banderas de “*PES scrambling control*”, las restantes son indicadores que muestran la presencia o ausencia de varios campos opcionales que pueden estar incluidos en la cabecera de un paquete PES. Además de la información del “*PES scrambling control*”. Estos campos opcionales, llevan información complementaria relativa al flujo elemental empaquetado, tales como si tiene prioridad relativa (“*PES priority*”), son datos con derecho de autor (“*copyright*”), un campo para identificación de errores en el paquete (“*PES CRC flag*”), etcétera.

De este grupo, hay dos banderas que resultan particularmente importantes, estos son los dos bits marcados como *P* y *D* en la figura 3.4.2. Cuando están, estos bits indican respectivamente la presencia de un campo denominado “*Presentation Time Stamp (PTS o Sello de Tiempo de Presentación)*” y de otro campo denominado “*Decoding Time Stamp (DTS o Sello de Tiempo de Decodificación)*” dentro de la cabecera del paquete PES.

➤ **Indicadores de tiempo (Time Stamps)**

Los indicadores de tiempo son el mecanismo proporcionado en MPEG-2 para asegurar una correcta sincronización en el decodificador entre los flujos elementales que están relacionados. Dichos indicadores de tiempo son valores binarios de 33 bits expresados en unidades de periodos de reloj de 90 kHz (aproximadamente 11.1  $\mu$ s).

El más importante de los indicadores de tiempo es el “*Presentation Time Stamp o PTS*” que especifica el momento en que una unidad de acceso debe retirarse del búfer del decodificador, ser decodificada y seguidamente presentada al espectador. MPEG supone que todo esto puede realizarse instantáneamente, aunque como en la práctica lleva algún tiempo, es responsabilidad del diseñador del decodificador resolver este problema.

En muchos tipos de flujos elementales es suficiente con los *PTS*, pero en el caso de los flujos elementales compuestos por video codificado MPEG, puede necesitarse un segundo tipo de indicador de tiempo que es el denominado “*Decoding Time Stamp*”.

Un *DTS* especifica el momento en que una unidad de acceso debe retirarse del buffer del decodificador y ser decodificada, pero no presentada al espectador. En lugar de esto último, la imagen decodificada se almacena temporalmente para ser presentada más tarde. Tal tratamiento es necesario únicamente para imágenes de tipo I y P de una secuencia de vídeo codificada MPEG; ya que estas imágenes son las que por interpolación permiten generar las imágenes de tipo B y por lo tanto necesitan ser decodificadas primero. El *DTS* siempre debe de ir acompañado de un *PTS*, que es el que informa del momento en que la unidad de acceso almacenada temporalmente debe presentarse al espectador. De esta forma, el *PTS* siempre



será posterior en el tiempo que su *DTS* asociado, puesto que la presentación de la imagen al espectador ocurrirá más tarde.

No es necesario ubicar indicadores de tiempo para cada unidad de acceso. El decodificador normalmente conoce de antemano el ritmo al que las unidades de acceso tienen que ser decodificadas, siendo suficiente proporcionar ocasionalmente los indicadores de tiempo simplemente para asegurar el sincronismo del proceso de decodificación a largo plazo.

El requerimiento especificado en MPEG es que un indicador de tiempo debe aparecer al menos cada 700 ms en los flujos elementales empaquetados de video o audio. Por otra parte, si una unidad de acceso tiene un indicador de tiempo asociado con ella, entonces ese indicador tiene que estar codificado en la cabecera del paquete PES en que dicha unidad de acceso comienza.

Cuando se incluyen los *PTS* y los *DTS*, sus longitudes de 33 bits se dividen en tres partes; dos de 15 bits y uno de 3 bits. También se agregan tres “bits de marca”, siempre puestos a ‘1’, entre las divisiones hechas. En la figura 3.4.3 se ilustra este proceso, el cual se hace con la finalidad de evitar la emulación del “*Start code*”, y que por lo tanto en los decodificadores se identifique erróneamente el inicio de un flujo elemental.

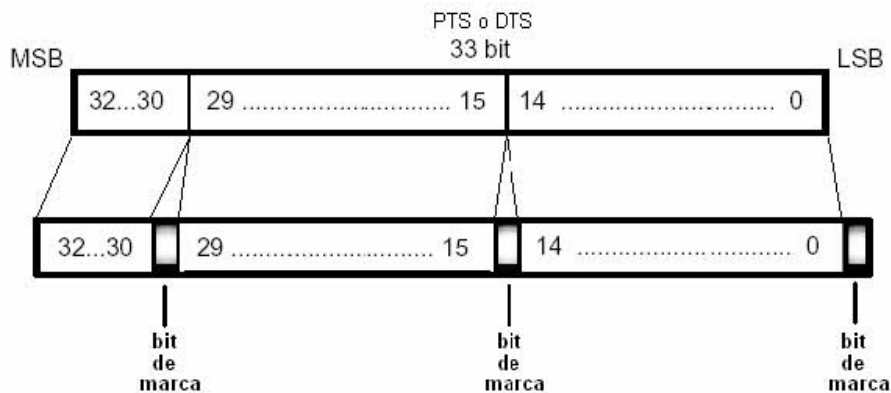


Figura 3.4.3. Campo MPEG-2 de PTS o DTS y bits de marca.

### ➤ Longitud de cabecera PES

El “PES header data length field” es el último de los bytes obligatorios de una cabecera de un paquete PES. Su valor indica el número de bytes opcionales presentes en la cabecera, hasta que se alcanza el primer byte de la carga útil del paquete PES.

Finalmente se pueden tener otros 25 campos de 8 bits adicionales en una cabecera, que pueden contener por tanto un total de 200 bits de datos adicionales. Estos son subcampos de cabecera y de relleno.

### 3.4.2 Paquetes de flujo de transporte

Posteriormente a la formación del flujo elemental empaquetado, el cual como se mostró en los párrafos anteriores está formado por paquetes PES, sigue la formación de otro flujo conocido como flujo de transporte, el cual se forma a través de paquetes de flujo de transporte (paquetes TS-Transport Stream)

Estos paquetes de transporte, se forman a partir del flujo elemental empaquetado (figura 3.4.4a), y a diferencia de los paquetes PES éstos tienen una longitud fija. Un paquete de flujo

de transporte tiene una longitud de 188 bytes (figura 3.4.4b) y siempre empieza con un byte de sincronización 0x47. Cada paquete TS incluye una cabecera de 4 bytes seguida a veces de un "Campo de Adaptación" o "Adaptation Field" (usado eventualmente para rellenar el exceso de espacio disponible) y en cualquier caso, de una carga útil. Por lo regular el paquete TS es más pequeño que el paquete PES, sin embargo, este último al ser de longitud variable puede llegar a ser más pequeño que el paquete TS.

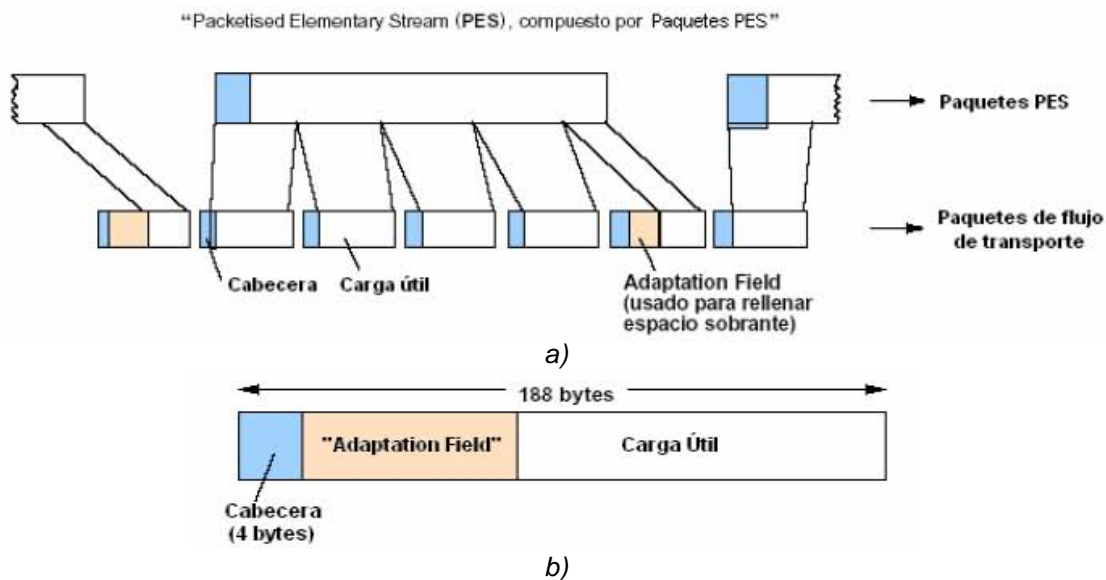


Figura 3.4.4. a) Formación de paquetes TS a partir de los paquetes PES,  
b) Estructura de un paquete TS.

El proceso de formación de los paquetes de transporte está sujeto al cumplimiento de dos condiciones fundamentales:

- a) El primer byte de cada paquete PES debe ser el primer byte de la carga útil de un paquete TS.
- b) Un paquete TS solamente puede contener datos tomados de un paquete PES.

Es improbable que un paquete PES rellene las cargas útiles de un número entero de paquetes TS de forma exacta. Como se muestra en la figura 3.4.4a, con frecuencia se dará el caso de que, para no contravenir las dos condiciones anteriores, el espacio sobrante del último paquete de transporte correspondiente a un paquete PES, se rellene deliberadamente con el "campo de adaptación" a una longitud apropiada. Este desperdicio de espacio puede minimizarse mediante una elección cuidadosa de la longitud de los paquetes PES. En principio, paquetes PES muy largos asegurarían una mayor proporción de paquetes de transporte completamente llenos de datos útiles.

### 3.4.2.1 Cabecera del paquete de Transporte

A diferencia de los paquetes PES, cuya cabecera tiene longitud variable, la cabecera de un paquete de transporte tiene siempre una longitud fija de 4 bytes; estos 4 bytes se dividen en una serie de campos de diferentes longitudes y los cuales cumplen diferentes funciones que servirán para el multiplexaje y demultiplexaje posteriores. El formato de esta cabecera puede verse en la figura 3.4.5

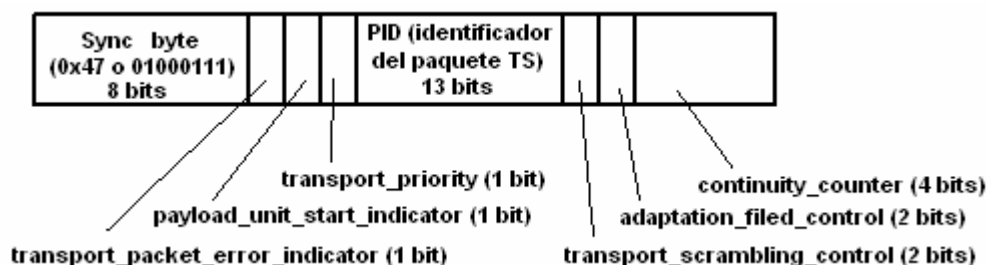


Figura 3.4.5. Estructura de la cabecera de un paquete TS.

Tabla 3.4.1. Estructura de la cabecera de un paquete TS.

Campo	Descripción	Bits
<i>sync_byte</i>	Byte de sincronización	8
<i>transport_error_indicator</i>	Identifica un error detectado (no se usa la carga útil)	1
<i>payload_unit_start_indicator</i>	Inicio de PES en el paquete de transporte	1
<i>transport_priority</i>	Indicador de prioridad	1
<i>PID</i>	Identificador del paquete de transporte	13
<i>transport_scrambling_control</i>	Tipo de cifrado de transporte	2
<i>adaptation_field_control</i>	Control del campo de adaptación del paquete	2
<i>continuity_counter</i>	Contador de continuidad entre paquetes	4

En la tabla 3.4.1 se muestra una organización de los campos de la cabecera del paquete TS, junto con el número de bits de cada uno y su principal funcionalidad. De los varios campos que contiene la cabecera de un paquete de transporte, hay unos que son particularmente importantes:

➤ **Sync Byte**

Es el primer byte de la cabecera y siempre tiene el valor 0x47. Dicho valor no es único dentro de un paquete de transporte y puede ser bastante frecuente que aparezca en otros campos. Sin embargo, el hecho de que un “sync byte” aparezca siempre cada 188 bytes dentro de un flujo de transporte hace fácil el proceso de su localización por los decodificadores para identificar el comienzo de cada paquete de transporte.

➤ **Packet Identifier (PID)**

Como se ha explicado, un flujo de transporte puede contener muchos programas diferentes, cada uno de los cuales contiene a su vez muchos flujos elementales distribuidos en paquetes de transporte. El campo de 13 bits “Packet Identifier (PID)” se emplea para distinguir los paquetes de transporte asociados a un determinado flujo elemental, de entre todos los demás.

De los  $2^{13}$  (8192) valores posibles para el PID, 17 están reservados para usos especiales, principalmente para identificar. Esto deja 8175 posibles valores que pueden asignarse a los diferentes flujos elementales, por lo que esta cifra representa el máximo número de éstos que un flujo de transporte puede contener. Es responsabilidad del multiplexor asegurar que cada flujo elemental tenga asignado un exclusivo valor de PID de entre todos los posibles. Por lo demás, MPEG no condiciona la asignación de valores concretos a los diferentes flujos elementales.

➤ **Payload Unit Start Indicator**

Este campo indica si en la carga útil se encuentra la cabecera de un paquete PES, o también si se tiene el inicio de una tabla que contiene información específica de programa (PSI).

Se pone a '1' para indicar que hay alguna de las dos. La cabecera del paquete PES siempre empieza con la carga útil del paquete mientras que el inicio de la tabla se indica mediante un apuntador.

➤ **Continuity Count Field**

Se incrementa entre sucesivos paquetes de transporte pertenecientes al mismo flujo elemental. Esto permite al decodificador detectar la pérdida o ganancia de un paquete y así poder ocultar los errores que de otra forma podrían presentarse. En los siguientes párrafos se mostrará la importancia de este campo.

➤ **Adaptation field control**

Este campo indica si después de la cabecera del paquete TS continúa un campo de adaptación, los valores que puede tomar son los siguientes:

- 00 → reservado.
- 01 → no hay campo de adaptación, solo carga útil.
- 10 → únicamente sigue campo de adaptación, no hay carga útil.
- 11 → campo de adaptación seguido de una carga útil.

Cuando se usa un campo de adaptación de acuerdo a la señalización de este campo, este campo de adaptación consta de una cabecera de campo adaptación. Esta cabecera de adaptación consiste de información útil para las funciones de decodificación de los flujos elementales en niveles mayores y usa banderas para indicar la presencia de extensiones particulares del campo. En la figura 3.4.6 se muestra la estructura de la cabecera del campo de adaptación.

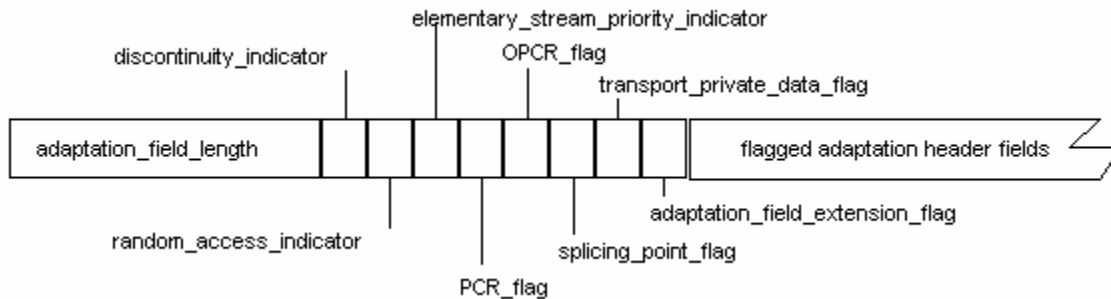


Figura 3.4.6. Estructura de la cabecera del campo de adaptación.

En la tabla 3.4.2 se muestra una breve descripción de estos campos de la cabecera:

Tabla 3.4.2. Cabecera del campo de adaptación.

Campo	Descripción	Bits
<i>adaptation_field_length</i>	Especifica el número de bytes que le siguen en la cabecera del campo de adaptación	8
<i>discontinuity_indicator</i>	Indica si hay una discontinuidad en los valores PCR (Program Clock Referente-Referencia de Reloj de Programa) que serán recibidos más adelante en este paquete. Esto ocurre cuando los flujos de bits son cortados. Esta bandera debe ser usada en el receptor para cambiar la fase del reloj local.	1
<i>random_access_indicator</i>	Indica que el paquete contiene datos que pueden servir como punto de acceso aleatorio dentro del flujo de bits, un ejemplo es el correspondiente al inicio de la secuencia de cabecera de información del flujo de bits de video.	1

Campo	Descripción	Bits
elementary_stream_priority_indicator	Indicación lógica de prioridad si los datos están siendo transmitidos en el paquete.	1
PCR	Usado para sincronización del proceso del sistema de decodificación. Este campo puede ser modificado durante el proceso de transmisión (el PCR se transmitirá por lo menos una vez cada 100 milisegundos).	48
OPCR (original_program_clock_reference)	Este campo no es modificado durante el proceso de transmisión (Puede ser usado para grabación y reproducción de programas simples).	48
splice_countdown	Indica el número de paquetes en el flujo de bits con el mismo PID como un paquete general hasta un paquete de punto de empalme (splicing). El paquete de punto de empalme se define como el paquete que contiene un punto en el flujo elemental de bits a partir del cual se pueden remover los datos y reemplazarse por otro flujo elemental de bits. Se usa para soportar la inserción de programación local y paquetes.	8
transport_private_data	Para datos privados	1
adaptation_header_extensions	Para futuras extensiones de la cabecera de adaptación.	1

### 3.4.3 Flujo de transporte (Multiplexaje)

El flujo de transporte de MPEG-2 es una serie continua de paquetes de flujo de transporte (paquetes TS) de MPEG-2.

Los paquetes TS resultantes del proceso anterior, aplicado a cada uno de los flujos elementales de señal (video, audio, datos, etcétera) pertenecientes a su vez a varios programas audiovisuales, se disponen secuencialmente para configurar el flujo de transporte MPEG-2.

No existen condiciones en cuanto al orden en que los paquetes de transporte deben aparecer en el multiplexaje tipo TS; tan sólo debe respetarse el orden cronológico de los paquetes de transporte pertenecientes a un mismo flujo elemental.

Es importante destacar que en el TS, además de los paquetes de transporte asociados a los flujos elementales de señal, es necesario incorporar paquetes de transporte que contienen *información de servicio* que proporcione la relación entre los diferentes paquetes de video, audio y datos de los programas; así como también *paquetes nulos de flujo transporte (Transport Stream Null Packet)* que se emplean para absorber eventuales reservas de capacidad del multiplexaje (ponen el servicio de multiplexaje a una tasa de bits fija y conocida, indiferente a la tasa de bits total de todos los programas MPEG-2 que se contienen).

En la figura 3.4.7 se ilustra de forma simplificada el proceso de conformación del flujo de transporte y Multiplexaje.

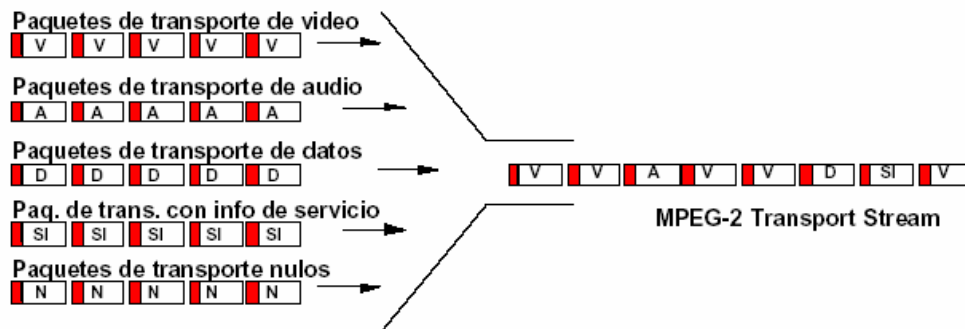


Figura 3.4.7. Conformación del flujo de transporte a partir de diferentes paquetes TS con flujos elementales de diferentes señales.

En este tipo de multiplexaje, el control de los paquetes respecto a la pertenencia de un determinado programa, ya sean de audio, video o datos se logra gracias a algunos de los campos de la cabecera del paquete de transporte que se mencionaron en párrafos anteriores, principalmente el “PID” y el “continuity\_counter”. En la figura 3.4.8 se ejemplifica la importancia que adquieren estos campos a través del multiplexaje MPEG-2 de dos programas, cada uno consistente en elementos de programas de audio y video.

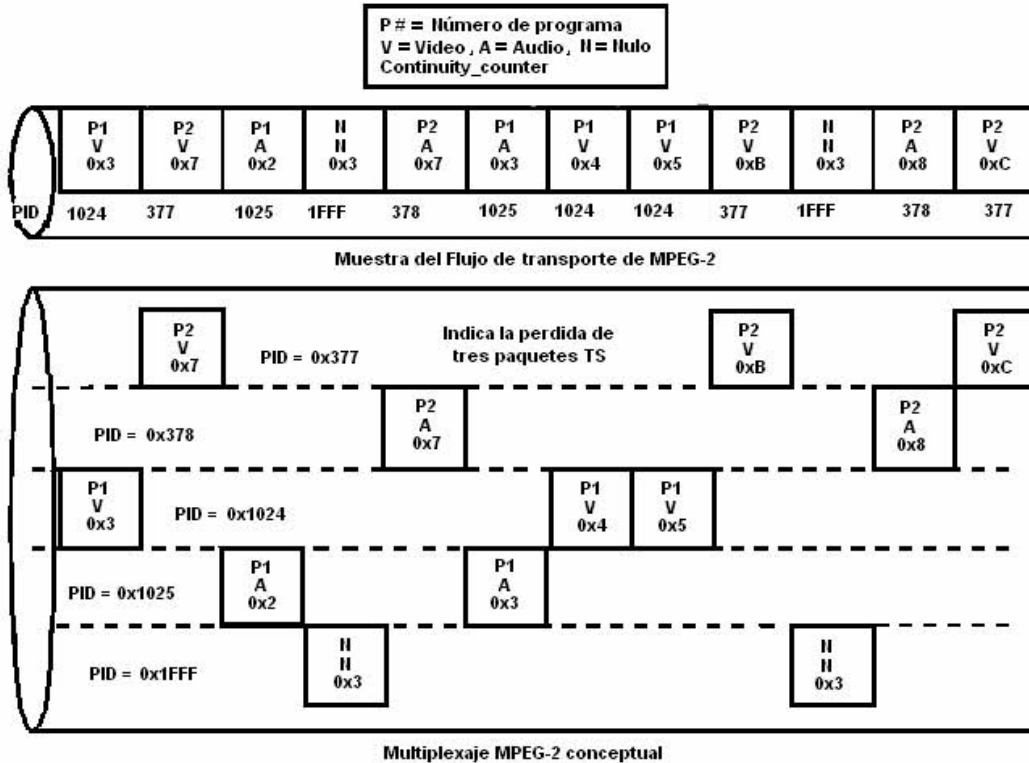


Figura 3.4.8. Multiplexaje MPEG-2 de dos programas.

El flujo de video del programa P1 en la muestra consiste de tres paquetes TS MPEG-2 identificados por el PID 0x1024. Cada paquete tiene un “continuity\_counter” asociado junto con el PID específico que permite al receptor determinar si ha ocurrido una pérdida. En este ejemplo, el “continuity\_counter” para el flujo de video del programa P1 empieza en 0x3 y termina en 0x5. Los paquete TS individuales que contienen este PID son extraídos del flujo de bits multiplexado y reensamblados, para obtener el paquete PES del cual surgieron estos paquetes TS.

El programa P1 también tiene un flujo de paquetes de audio asociados con el PID 0x1025, en este caso dos con los valores del “continuity\_counter” de 0x2 y 0x3. En este caso, para el programa P1 no ha habido ninguna pérdida de paquetes en esta muestra debido a la continuidad de contador. En el caso de programa P2, el PID del flujo de video está identificado como 0x0377, en la figura se puede observar que únicamente hay tres paquetes TS de video para el programa P2, si se checa el “continuity\_counter” se observa un salto de 0x7 a 0xB, lo que indica que en esta muestra para P2 hubo una pérdida de 3 paquetes TS. En el caso del flujo de audio asociado para P2, el cual está identificado con el PID 0x0378 no se tiene ninguna pérdida de paquete.

En el caso de los paquetes TS nulos, se usó el valor de 0x3 en el “*continuity\_counter*”, sin embargo se puede usar cualquier valor, ya que este campo se ignora para este tipo de paquetes.

#### 3.4.4 Información Específica de los Programas (PSI – Program Specific Information)

El multiplexaje del flujo de transporte MPEG-2 puede contener varios programas audiovisuales, cada uno de los cuales está compuesto por uno o varios flujos elementales empaquetados distribuidos en paquetes de transporte. Estos paquetes a su vez están marcados con un PID que identifica a qué flujo elemental pertenecen.

Sin embargo, MPEG-2 también define otra estructura, aparte de los PES, que se incluyen dentro del flujo de transporte. A esta estructura se le llama genéricamente “sección” y lleva información descriptiva necesaria para que el decodificador pueda recuperar completamente un programa a través de los valores de los PID de los paquetes correspondientes (identificar el programa y demultiplexarlo relacionando estos PIDs con los programas a que pertenecen). Tal información se denomina “*Información Específica de los Programas*”.

Esta “*Información Específica de los Programas*”, definida por MPEG-2, comprende la inclusión dentro del flujo de transporte de 5 tipos de tablas:

- *Tabla de Asociación de Programas (PAT - Program Association Table)*
- *Tabla de Acceso Condicional (CAT - Conditional Access Table)*
- *Tabla de Mapa de Programa (PMT - Program Map Table)*
- *Tabla de Información de Red (NIT – Network Information Table)*
- *Tabla de Descripción del Flujo de Transporte (TSDT – Transport Stream Description Table)*

Cada tabla está constituida, según su importancia, por una o varias secciones (256 como máximo). Existen dos formas de secciones: “corta” y “larga”. La forma corta incluye información mínima de cabecera y esta limitada a llevar una carga útil de 4093 bytes. La sección de forma larga incorpora campos de cabecera adicionales, lo que permite la segmentación de grandes estructuras de datos en múltiples partes. La sección larga puede acomodar hasta 256\*4084 bytes de carga útil (1, 045,504 bytes). Dichas secciones están distribuidas a lo largo de una serie de paquetes de transporte identificados con un PID común.

De estas tablas, en ATSC sólo se especifican tres, estas son las PAT, CAT y las PMT y son las que se explicarán en los siguientes párrafos.

##### ➤ **Tabla de Asociación de Programas (PAT)**

Esta tabla, de inclusión obligatoria, es transportada por los paquetes con PID = 0x0000 y contiene una lista completa de todos los programas disponibles en el *Transport Stream*.

Esta tabla asocia a cada número de programa MPEG-2 con su correspondiente sección de mapa de programa, mediante el valor de PID asignado a cada sección de mapa de programa correspondiente.

A su vez, cada sección de mapa de programa contiene el mapeo o la relación entre el programa MPEG-2 y los elementos de programa que definen el programa. A este mapeo se le llama *definición de programa*. Es decir que cada definición de programa establece la relación entre el número de programa y la lista de todos los PID que identifican los elementos de programa individuales que comprenden el programa MPEG-2

La *PAT* debe transmitirse sin cifrar aunque todos los demás programas lo estén.

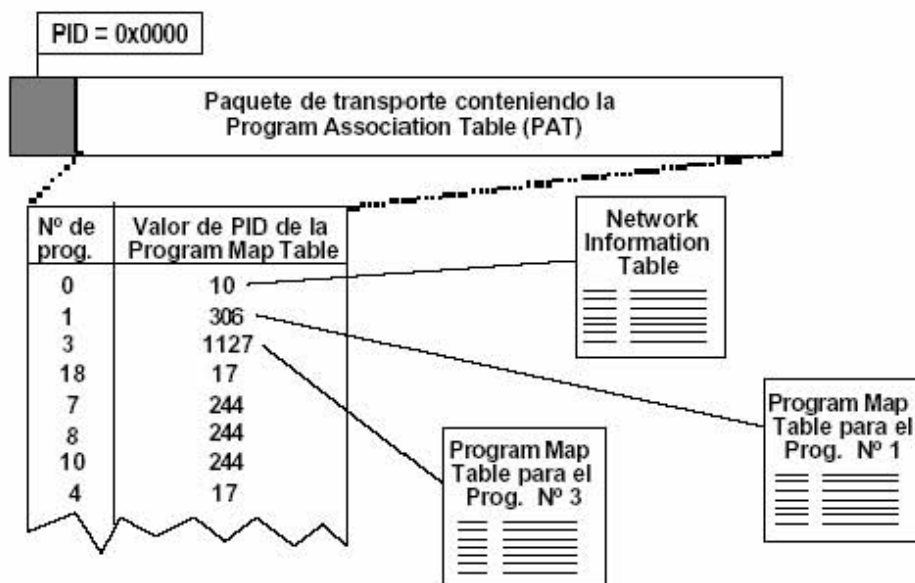


Figura 3.4.9. Representación de una tabla PAT.

En la figura 3.4.9 se puede ver la representación simbólica de la tabla *PAT*, donde está la relación entre el número de programa y el PID asociado a esa sección de mapa de programa. También se observa que una sola *Program Map Table* (la nº 244) y la cual se explicará en párrafos posteriores puede contener los detalles de varios programas (los numerados como 7, 8 y 10).

➤ **Tabla de Acceso Condicional (CAT)**

Esta tabla debe estar presente si al menos un programa en el multiplexaje es de acceso condicional. Se transporta por los paquetes con PID = 0x0001, 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 del contenido de la carga útil de la tabla *CAT* no está especificado en MPEG-2, puesto que depende del tipo de sistema de cifrado empleado.

➤ **Tabla de Mapa de Programa (PMT)**

Cada programa audiovisual incluido en un flujo de transporte tiene una tabla *PMT* asociada con él. Dicha tabla proporciona toda la colección completa de *definiciones de programa* individuales, es decir, que contiene todas las relaciones de los elementos individuales de un programa MPEG-2 con el valor de PID correspondiente a cada una.

Según MPEG-2, las tablas *PMT* pueden ser transportadas por paquetes con valores de PID arbitrarios, exceptuando los valores 0x0000, reservado para *PAT*, y el 0x0001 reservado para *CAT*.

En la figura 3.4.10 se muestra una representación simbólica de tabla *PMT*. Mediante ella, a manera de ejemplo, un decodificador puede determinar que el flujo elemental codificado



de vídeo correspondiente al programa No. 3 se encuentra en los paquetes TS identificados mediante el PID = 726 y que el flujo elemental cuyos paquetes están etiquetados con PID = 57 lleva el audio correspondiente en Inglés.

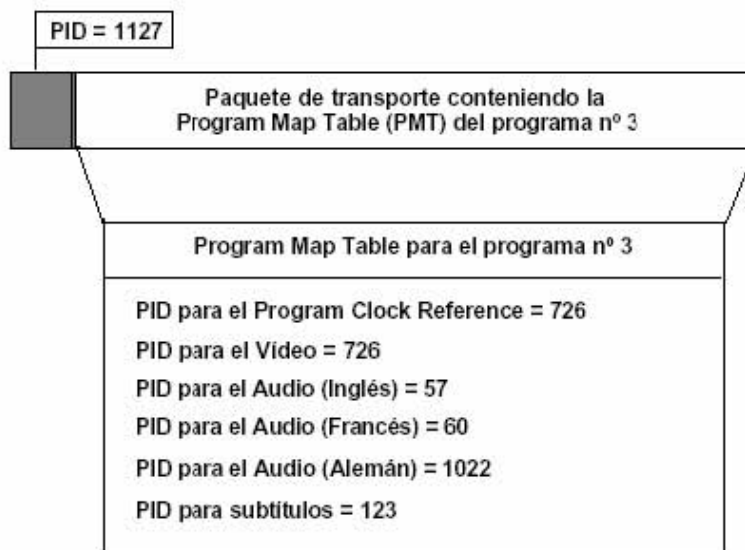


Figura 3.4.10. Ejemplo de una tabla PMT.

En las tablas *PMT* los datos de los PID no pueden estar cifrados. Sin embargo, dichas tablas *PMT* también pueden contener información *privada* relativa al programa, que eventualmente sí puede estar cifrada (por ejemplo datos para el control de acceso).

### 3.4.4.1 Arquitectura de las Tablas de Información del Servicio (SI)

Como se mencionó en párrafos anteriores, las tablas PSI definidas por MPEG-2 (documento ISO/IEC 13818-1) están constituidas por una o más secciones que se distribuyen a lo largo de una serie de paquetes TS. Al contrario de la distribución de los PES entre los paquetes TS (figura 3.4.4a), las secciones de las tablas PSI no tienen que empezar ni acabar forzosamente con un paquete TS. Sin embargo, si un paquete TS contiene el comienzo de al menos una sección, su *payload\_unit\_start\_indicator* (ver figura 3.4.5) debe ponerse a "1".

La posición de comienzo de una nueva sección en un paquete TS está indicada por el *Pointer\_field*, que debe ser el primer byte de la carga útil del citado paquete y proporciona el desplazamiento (offset), en bytes, desde el final del *pointer\_field* hasta el primer byte de dicha sección. Así, un valor de 0x00 indica que la sección comienza inmediatamente después del *pointer\_field*. Si ninguna sección tiene su comienzo dentro del paquete TS, no habrá *pointer\_field* y el *payload\_unit\_start\_indicator* se pondrá a 0. En la figura 3.4.11 se ilustra el caso general del funcionamiento de *pointer field* y cómo apunta al comienzo de la sección.

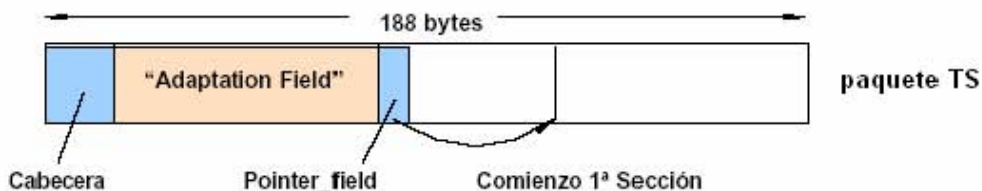


Figura 3.4.11. Comienzo de una primera sección dentro de un paquete TS.

Solamente hay un “*pointer\_field*” en un paquete TS para marcar la posición de la primera sección que tenga su comienzo dentro de él, puesto que el comienzo de cualquier otra sección de una tabla se puede identificar fácilmente contando la longitud de las secciones precedentes al no permitir la sintaxis que haya huecos entre ellas.

Si la sección es menor que la carga útil del paquete TS, entonces puede haber múltiples secciones contenidas dentro de un paquete TS. Las secciones que son más grandes que la carga útil del paquete TS se segmentan a través de varios paquetes. Una vez que el proceso de empaquetamiento de una sección comienza, no se empaquetará una nueva sección en un paquete TS que tiene el mismo PID hasta que la sección previa se haya empaquetado totalmente.

Si una sección termina antes del final de un paquete TS, pero no es conveniente abrir otra dentro del mismo paquete, se debe emplear un mecanismo de relleno que emplee para cada byte sobrante el valor 0xFF. También puede usarse como método de relleno de los paquetes de transporte el mecanismo “*Adaptation\_field*”.

#### 3.4.4.2 Composición de las secciones

Las tablas se dividen en secciones de longitud variable. Cada sección se identifica por la combinación, entre otros, de los siguientes elementos:

- a) ***table\_id***. El campo “*table\_id*” identifica a qué tipo de tabla pertenece la sección. Algunos valores de “*table\_id*” han sido definidos por ISO (International Standard Organization) y otros por ETSI (European Telecommunications Standard Institute). También se pueden asignar otros valores para uso privado. La tabla 3.4.3 muestra la lista de valores de “*table\_id*”.
- b) ***section\_syntax\_indicator***. Determina cuándo se va a usar la forma corta (4093 bytes) o la forma larga (256\*4093 bytes)
- c) ***version\_number***. Este campo está contenido en las secciones de forma larga. Identifica la revisión de los contenidos de una sección (como por ejemplo en comienzo de nuevos acontecimientos, diferente composición de los flujos elementales para un servicio dado, etc.). En cualquier momento en que se modifican los bytes de la carga útil, el *version\_number* debe ser incrementado para que el receptor sea capaz de determinar que los contenidos de esa sección cambiaron.
- d) **CRC-32**. La forma larga contiene un campo CRC-32 justo después del último byte de la carga útil y se utiliza con fines de detección de errores. Hay un decodificador de 32 bits CRC en el receptor que calcula el CRC sobre todos los bytes que comprimen una sección empezando con el *table\_id* hasta el último byte de campo *CRC\_32*. Un acumulador CRC que resulta en cero indica que la sección fue recibida sin errores.

Se pueden agregar una o más secciones dentro del flujo de transporte MPEG-2 dependiendo del tamaño de la sección. [2][3][10]

#### 3.4.5 Protocolo de Información de Programas y de Sistema (PSIP)

A parte de estas tablas PSI de MPEG-2, en su momento se reconoció que el estándar ATSC iba a necesitar otras más. Por lo tanto, ATSC tiene lo que se conocen como tablas PSIP (Program and System Information Protocol). Aquí se incluyen las siguientes tablas: La Tabla de Guía Maestra (Master Guide Table o MGT), la Tabla de Información de Eventos (Event Information Table o EIT), la Tabla de Texto Extendido (Extended Text Table o ETT), la Tabla de Tiempo de Sistema (System Time Table o STT), la Tabla de Clasificación de Región (Rating Region Table), y la Tabla de Canal Virtual de Cable (Cable Virtual Channel Table o CVCT) o la

Tabla de Canal Virtual Terrestre (Terrestrial Virtual Channel Table o TVCT) dependiendo si es transmisión por Cable o Terrestre respectivamente.

Las tablas actuales de ATSC se implementan como tablas privadas. Éstas se pueden incorporar en el flujo de transporte y tienen las mismas estructuras que las tablas PSI.

La Tabla de Guía Maestra, es una tabla principal que contiene los PIDs de algunas de estas tablas de ATSC. El flujo de transporte debe contener por lo menos 4 Tablas de Información de Eventos (EIT-0, EIT-1, EIT-2, EIT-3) y los PID de estas EITs se encuentran en la Tabla de Guía Maestra. Una EIT contiene una sección de guía electrónica de programación de 3 horas. Por lo tanto, con 4 de éstas se cubre un periodo de hasta 12 horas. Se pueden poner hasta 128 EITs, sin embargo son opcionales. En cuanto a las ETT éstas contienen información de texto asociada a una EIT. De esta forma una ETT-0 contiene información de texto asociada a la EIT-0. Es posible tener hasta 128 ETTs.

La Tabla de Canal Virtual puede ser de Cable o Terrestre dependiendo del medio de transmisión y contienen la información de identificación para los canales virtuales (por ejemplo programas) contenidos en el flujo de transporte multiplexado. Estas tablas contienen, entre otras cosas, los nombres de los programas.

La tabla de Tiempo de Sistema tiene toda la información necesaria de tiempo. Aquí se transmite el tiempo GPS (Global Position System) y la diferencia de tiempo GPS y UTC (Universal Time Coordinated). Por ultimo la Tabla de Clasificación de Región se puede usar para restringir el tamaño de la audiencia en términos de edad o región. De esta forma, a parte se puede implementar en el sintonizador de DTV la restricción a menores para ciertos programas (Parental Lock). [14]

### 3.5 Características del sistema de transmisión y radiofrecuencia

En la figura 3.5.1 se muestra el diagrama a bloques de un transmisor (VSB) de un sistema de televisión digital típico de ATSC.

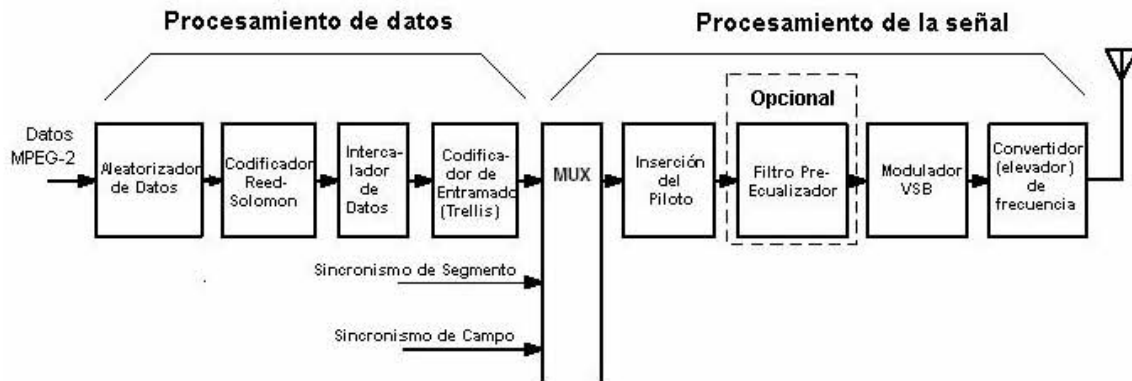


Figura 3.5.1. Diagrama a bloques de un transmisor VSB.

#### 3.5.1. Procesamiento de datos

En este bloque del transmisor VSB se tienen cuatro etapas en las cuales se realizan una serie de alteraciones y proceso a los paquetes de información que serán enviados, estos paquetes llegan a esta etapa una vez que han pasado previamente por el proceso de compresión y multiplexaje.

Debe tenerse en cuenta, en primera instancia, que los paquetes de MPEG-2 deben estar sincronizados con los circuitos internos del transmisor en la entrada de la señal a éste. Antes de que algún procesamiento de señal se presente, el transmisor debe identificar correctamente el inicio y el fin de cada paquete de datos. Esto se realiza empleando el byte de sincronía MPEG-2. Los paquetes son de 188 bytes de longitud, en donde siempre el primer byte al inicio del paquete es de sincronía.

#### 3.5.1.1. Aleatorizador de datos

El aleatorizador de datos permite distribuir, de manera homogénea, la energía de la señal que se transmitirá en el ancho de banda del canal de transmisión. Esto se logra generando una secuencia pseudoaleatoria de datos y su objetivo es hacer un uso más eficiente de la energía de la señal. La carga de bits 8-VSB debe tener una completa aleatorización, como ruido natural. Esto es porque la respuesta en frecuencia de la señal transmitida debe tener un espectro liso como ruido para usar el canal de Radiofrecuencia (RF) asignado con la máxima eficiencia.

Si los datos contienen patrones repetitivos, el recurrente ritmo de estos patrones puede causar que la energía de radiofrecuencia contenida en la señal de transmisión se “amontone” en ciertos puntos discretos en el espectro de frecuencias, por lo que daría lugar a la existencia de “hoyos” es decir frecuencias en las cuales no hay energía de la señal. Esto implica que ciertas partes del canal de 6 MHz estén sobreocupadas y otras partes muy poco ocupadas por la energía de la señal. En el aleatorizador de datos, el valor de cada byte es cambiado de acuerdo a un patrón conocido de generación de números pseudoaleatorios. Este proceso se realiza de forma inversa en el receptor para recuperar la señal original.

#### 3.5.1.2. Codificador Reed-Solomon

La información a la salida del aleatorizador se ingresa a un bloque de codificación Reed-Solomon que añade 20 bytes de redundancia a los paquetes MPEG-2 de 188 bytes de información. La codificación Reed-Solomon consiste en un método de corrección directa de errores (FEC, Forward Error Correction) “sin memoria”, por lo que su salida no se ve afectada por los símbolos anteriores que entran y salen del codificador.

El FEC es generalmente un término usado para describir una variedad de técnicas que pueden usarse para corregir errores en los bits que ocurren durante la transmisión. El ruido atmosférico, la multirtrayectoria, el desvanecimiento de la señal y los transmisores no lineales pueden crear bits erróneos en la recepción. El FEC puede detectar y corregir estos errores, dentro de un límite razonable.

El codificador Reed-Solomon toma los 187 bytes de un paquete MPEG-2 de entrada (el byte de sincronía ha sido removido del paquete) y matemáticamente manipula éstos como un bloque para crear un tipo de “identificador digital (ID)”, este “ID” ocupa 20 bytes adicionales los cuales son colocados al final del paquete original de 187 bytes codificado. Estos 20 bytes son conocidos como bytes de paridad Reed-Solomon. El esquema de codificación Reed-Solomon usado en televisión digital puede soportar un máximo de 10 bytes en error por paquete.

### 3.5.1.3. Entrelazado de datos

El bloque que sigue es el de entrelazado externo de datos, que combina los bytes codificados utilizando 12 niveles de entrelazado. Este proceso puede entenderse como una dispersión de los bytes de los 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 con el patrón de 12 niveles. El entrelazado permite incrementar la confiabilidad del sistema, pues en caso de perderse un paquete, únicamente una porción de la información correspondiente a cada paquete se extraviaría, misma que puede recuperarse gracias a la codificación. Este tipo de codificación protege a la información de un tipo de ruido conocido como “impulsivo”.

El entrelazador de datos perturba el orden secuencial del flujo de datos y dispersa los paquetes de datos MPEG-2 en todo momento (en un intervalo de aproximadamente 4.5 ms empleando el uso de búferes de memoria), a fin de minimizar la sensibilidad de la señal transmitida a la interferencia. El entrelazador de datos entonces ensambla nuevos paquetes de datos reconstruidos que son de la misma longitud que los paquetes originales: 207 bytes (después de la codificación Reed-Solomon). Por ejemplo, esto es equivalente a “repartir todas tus manzanas (bytes) en muchas diferentes canastas (tiempo)”. Si el ruido impulsivo le pega a la señal durante la propagación y “una canasta” se pierde (varios milisegundos), muchos y distintos paquetes MPEG-2 perdieron “una manzana” en lugar de que un paquete perdiera todas sus “manzanas”, esto es conocido como diversidad temporal, si cada paquete sólo pierde un pequeño número de bytes, el decodificador Reed-Solomon en el receptor es capaz de corregir los errores y recuperar los datos.

En la figura 3.5.2 se puede ver el diagrama conceptual del entrelazador de datos. Este básicamente consiste de 52 registros de almacenamiento. El objetivo es lograr que cada byte que entra tenga un cierto retardo de acuerdo con su posición. Cada secuencia de bytes es almacenada temporalmente hasta que llega su turno de ser transmitido.

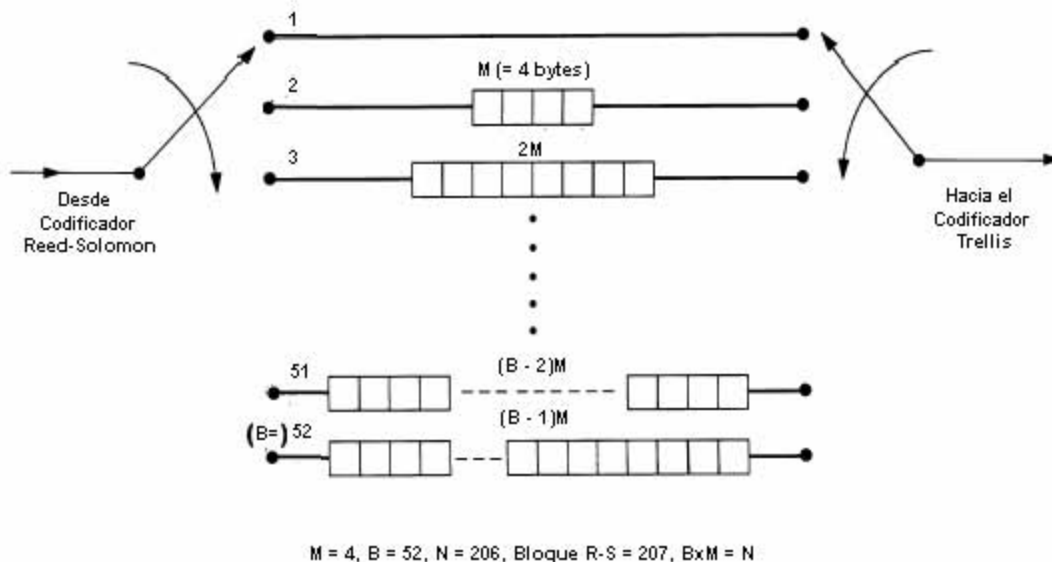


Figura 3.5.2. Diagrama conceptual del entrelazador de datos

De esta manera los bytes de entrada son retrasados 4, 8, 12..., hasta 204 bytes dependiendo del registro. El primer byte, el cual es el de sincronía nunca es retrasado, pasa directamente a través del registro 1 con el fin de no perder sincronía.

#### 3.5.1.4. Codificador trellis

El codificador trellis o codificador de entramado es otra forma de FEC diferente del código Reed-Solomon, el cual trata el paquete entero MPEG-2 como un bloque. El código Reed-Solomon es conocido como un código de bloque, mientras que el código trellis es un código convolucional. Para la codificación trellis o de entramado cada byte es dividido en cuatro palabras de 2 bits. En el codificador de entramado cada palabra de dos bits que llega es comparada con la palabra pasada de dos bits, un código binario de 3 bits es generado para describir la transición de la palabra de 2 bits previa con la actual. Las palabras originales de 2 bits son sustituidas por estos códigos de 3 bits y transmitidas a través del espacio como los 8 niveles de símbolos de 8-VSB ( $3 \text{ bits} = 2^3 = 8 \text{ combinaciones o niveles}$ ). Por cada 2 bits que entran al codificador de entramado salen 3 bits.

#### 3.5.2. Procesamiento de la señal

La siguiente etapa que tiene lugar en el transmisor es la de procesamiento de la señal, obtenida a la salida del codificador de entramado. En esta etapa se prepara la señal para ser enviada por la antena hacia el espacio.

##### 3.5.2.1. Sincronía e inserción de la señal piloto

Por medio del multiplexor se insertan a los paquetes binarios, que salen del codificador de entramado, los paquetes de sincronía de campo y de trama (frame). El siguiente paso en la cadena de procesamiento de la señal es la inserción de varias señales de ayuda, que auxilian al receptor de televisión digital para localizar y demodular la señal transmitida de RF con precisión. Estas son la señal piloto ATSC, la señal de sincronía de segmento y la señal de sincronía de campo. Las señales de sincronía y piloto son insertadas después de la zona de aleatorización de datos y códigos de errores para no destruir el tiempo estable y la relación de amplitud que estas señales deben de tener para ser efectivas.

La primera señal de ayuda es el piloto ATSC. Sólo antes de la modulación, un pequeño cambio en corriente directa es aplicado a la señal en banda base de 8 niveles (la cual fue previamente centrada alrededor de 0 volts sin ninguna componente de corriente directa). Esto causa una pequeña portadora residual que aparece en el punto de frecuencia cero del espectro modulado resultante, que es la señal piloto ATSC. Esto da a los circuitos PLL (Phase Lock Loop, bucle enganchado en fase) de radiofrecuencia en el receptor de televisión digital la indicación de que es independiente de los datos transmitidos.

Las otras señales de ayuda son la sincronía de campo y de segmento ATSC. Un segmento de datos ATSC consta de 207 bytes de un paquete de datos entrelazado. Después de la codificación de entramado (trellis) el segmento de 207 bytes ha sido extendido en un flujo de 828 símbolos en 8 niveles. El segmento de sincronía es un pulso de cuatro símbolos que es sumado al frente de cada segmento de datos y reemplaza al primer byte perdido (byte de sincronía del paquete) del original paquete de datos MPEG-2. La sincronía de segmento aparece una vez cada 832 símbolos y siempre toma la forma de un pulso positivo-negativo-positivo oscilando entre niveles de +5 y -5 volts, como se ve en la figura 3.5.3.

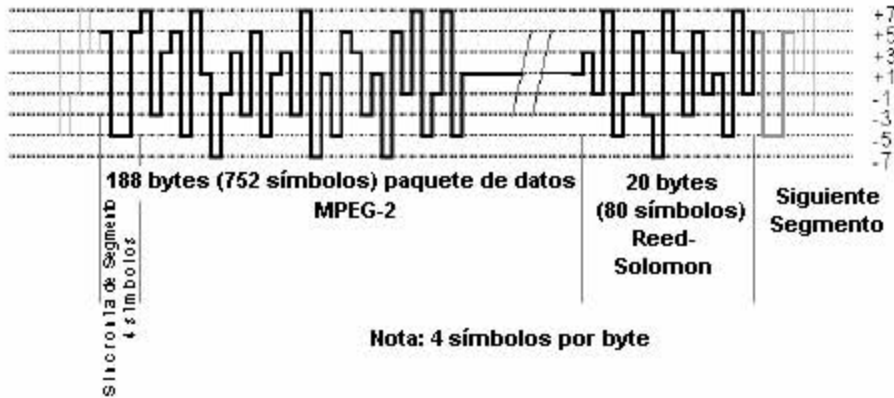


Figura 3.5.3. Segmento de datos en banda base ATSC.

Un segmento de datos es aproximadamente análogo a una línea NTSC, sin embargo la sincronía de segmento ATSC es como la sincronía horizontal de NTSC. Su duración y frecuencia de repetición son, por supuesto, completamente diferentes, cada sincronía de segmento dura  $0.37 \mu s$ , mientras que la sincronía de NTSC dura  $4.7 \mu s$ . En ATSC el segmento de datos dura  $77.3 \mu s$  y en NTSC la línea dura  $63.6 \mu s$ .

Se combinan 313 segmentos de datos consecutivos para formar un campo de datos. En la figura 3.5.4 se muestra la composición de un campo de datos ATSC.

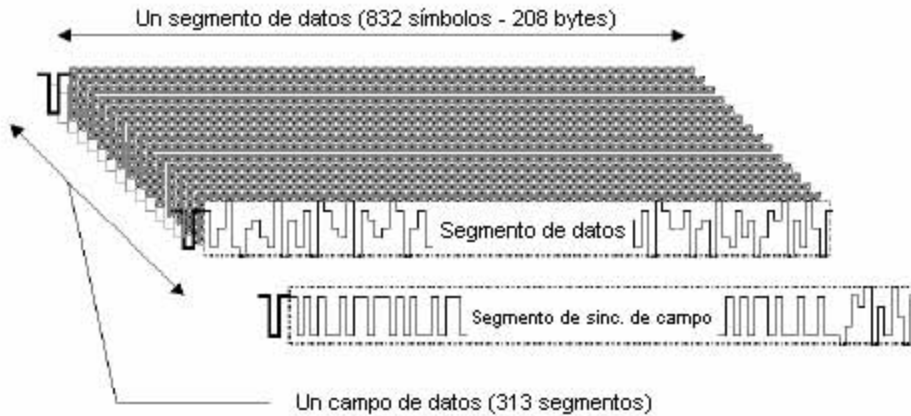


Figura 3.5.4. Campo de datos en banda base ATSC.

La sincronía de campo ATSC es un segmento de datos completo que es repetido una vez por campo ( $24.2 \text{ ms}$ ) y es aproximadamente análogo al intervalo vertical en NTSC. La sincronía de campo tiene un patrón conocido de símbolos, pulsos positivos-negativos y es usado en la recepción para eliminar los problemas de "fantasmas" ocasionados por una pobre recepción.

Al final de cada segmento de sincronía de campo, los últimos 12 símbolos del último segmento de datos son repetidos con el propósito de reiniciar el codificador de entramado en el receptor.

La cualidad de robusto de la sincronía de segmento y campo permite una mayor exactitud en la recuperación del reloj en el receptor y cancela el efecto de "fantasmas", cuando la carga útil es completamente afectada por las condiciones de una recepción pobre.

### 3.5.2.2. Modulador 8-VSB

El modulador VSB tiene varias etapas que a continuación serán descritas.

Las siglas 8-VSB que en español se leen como banda lateral residual de ocho niveles, es el formato de modulación de radiofrecuencia elegido y desarrollado por el Comité de Sistemas de Televisión Avanzada de Estados Unidos (ATSC) para la transmisión de televisión digital.

VSB (Vestigial Side Band) es un tipo de modulación basado en técnicas de modulación en amplitud (AM), la cual codifica datos variando la amplitud de una sola frecuencia portadora. En VSB las porciones de una de las bandas laterales redundantes son removidas para formar una banda lateral residual, banda así llamada porque es un residuo de la banda lateral.

En FM la portadora no varía en amplitud, en cambio la modulación de datos se ve en el dominio de la frecuencia como la aparición de nuevas componentes espectrales, llamadas bandas laterales, que están en función de los cambios de la señal original, éstas se encuentran en frecuencias de  $F_{\text{portadora}} \pm F_{\text{mensaje}}$ , la banda lateral izquierda o inferior (LSB, Low Side Band) aparece en una frecuencia menor que la portadora y la banda lateral derecha o superior (USB, Upper Side Band) aparece en una frecuencia más alta que la portadora, y ambas bandas laterales contienen la misma información.

La transmisión VSB es similar a la de banda lateral única (SSB, Single Side Band), en la cual una de las bandas laterales es completamente suprimida, sin embargo en transmisión VSB la segunda banda no es completamente suprimida, solamente es filtrada para remover el rango de frecuencias deseado lo que provoca que queden residuos de ésta. El modo 8-VSB incluye 8 niveles ( $\pm 1$ ,  $\pm 3$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 7$ ) de amplitud para transportar datos a una velocidad de 19.3 Mbits/s en un solo canal de 6 MHz.

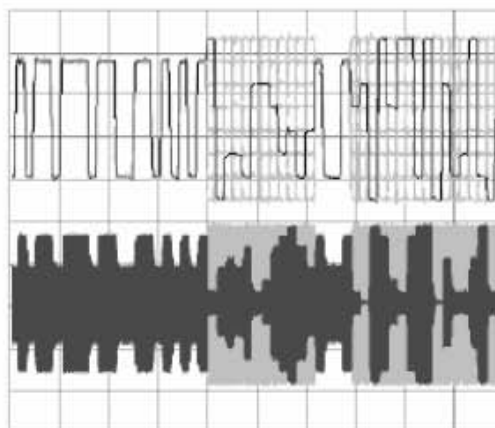
8-VSB es considerado eficaz para la transmisión simultánea de más de un programa de televisión digital y la transmisión de datos (datacasting) junto con programas de televisión porque éste soporta un gran número de carga útil de datos. El ATSC adoptó el sistema de transmisión VSB por la cualidad de poder transmitir señal de televisión de Alta Definición (HDTV).

#### 3.5.2.2.1. Modulación AM

La señal de televisión digital en banda base de 8 niveles, junto con la de sincronía y señal piloto de corriente directa, es modulada en amplitud sobre una portadora de frecuencia intermedia (IF, de 44 MHz). Esto produce un amplio espectro de dobles bandas laterales de IF alrededor de la frecuencia de la portadora, como se muestra en la figura 3.5.5.

El ancho de banda ocupado de esta señal de frecuencia intermedia es muy grande para ser transmitido en el canal de radiofrecuencia de 6 MHz de ancho de banda. Afortunadamente hay “trucos” que pueden ser empleados para filtrar una gran parte de este espectro sin destruir ninguna información digital esencial.





La primera señal se encuentra en banda base de 8 niveles al final de un segmento de sincronía de campo. En las áreas amplificadas se aprecia la señal original sin modular.

La segunda señal muestra un segmento de sincronía de campo después de la modulación AM (diferente sobre la portadora de frecuencia intermedia, IF)

Figura 3.5.5. La señal en banda base de 8 niveles es modulada en AM sobre la portadora de frecuencia intermedia (IF).

Una simple inspección a la figura 3.5.6 revela el alto grado de redundancia en la doble banda lateral del espectro de AM, el gran número de lóbulos laterales son simplemente incrustaciones de copias del espectro central, y la banda lateral inferior completa es una imagen espejo de la banda lateral superior. Por este hecho es posible descartar casi completamente la banda lateral inferior y todos los lóbulos laterales de la banda lateral superior sin ninguna pérdida de información.

La señal restante, es decir la mitad del lóbulo mayor en el centro del espectro, puede ser aún recortada a la mitad gracias al teorema de Nyquist (teorema del muestreo), el cual declara que sólo la mitad del ancho de banda en frecuencia es requerido para transmitir una señal digital a la velocidad de muestreo dada. El trabajo de reducir el espectro de doble banda lateral de la frecuencia intermedia (IF) corresponde ahora a la siguiente etapa, el filtro de Nyquist.

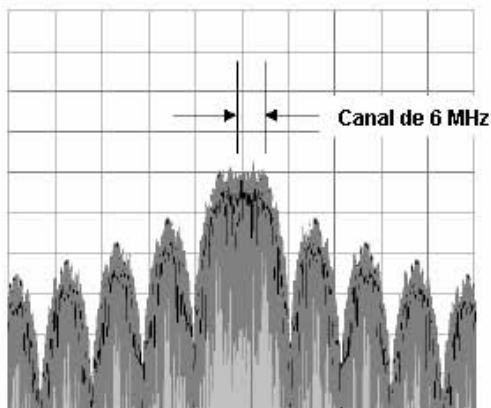
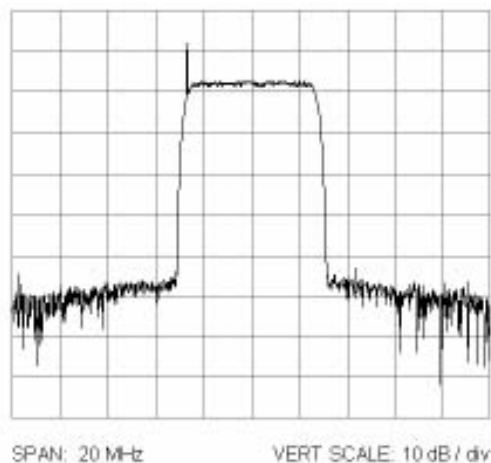


Figura 3.5.6. Espectro de doble banda lateral creado en Modulación AM. Se observa que este espectro creado por la modulación AM de la señal en banda base sobre la portadora de IF es mucho más grande que el canal de 6 MHz de RF.

### 3.5.2.2.2. Filtro Nyquist

Como resultado de los datos sumados a la señal en forma de FEC y la inserción de sincronía, la velocidad de datos de la señal se incrementa de 19.39 Mbits/s en la salida del codificador de entramado. Debido a que 3 bits son transmitidos en los 8 niveles, la velocidad de símbolo resultante es  $32 \text{ Mb}/3 = 10.76$  millones de símbolos por segundo. Gracias al teorema de Nyquist es posible transmitir 10.76 millones de símbolos por segundo en una señal VSB con un mínimo ancho de banda de frecuencia de  $\frac{1}{2} * 10.76 \text{ MHz} = 5.38 \text{ MHz}$ . Con el ancho de banda del canal asignado de 6 MHz, es posible con la ayuda del filtrado VSB, disminuir la señal para el canal de 6 MHz.



*Figura 3.5.7. Espectro en frecuencia de la señal de radiofrecuencia 8-VSB. Nótese la presencia de la señal piloto ATSC en el extremo del canal. La banda lateral inferior (debajo de la frecuencia de la señal piloto) está casi completamente removida.*

Se tienen 5.38 MHz como mínimo ancho de banda de acuerdo con Nyquist que, sumados a 620 kHz (ancho de banda sobrante) nos dan 6.0 MHz, este último es el valor del ancho de banda del canal. El gran ancho de banda de sobra con el que se cuenta facilita la implementación de hardware, en términos de requerimiento de filtrado y costos de reloj para el muestreo.

La respuesta en frecuencia resultante después del filtro VSB Nyquist se muestra en la figura 3.5.7, note cómo el formato 8-VSB usa el método de banda lateral residual para conservar el espacio del espectro, 8-VSB toma este concepto para agrandar los extremos: las bandas laterales bajas de RF son casi completamente removidas.

La virtual eliminación de la banda lateral inferior a través del filtrado de la banda superior crea cambios muy significativos en la forma de onda de RF que es finalmente transmitida, esto se muestra en la figura 3.5.8.

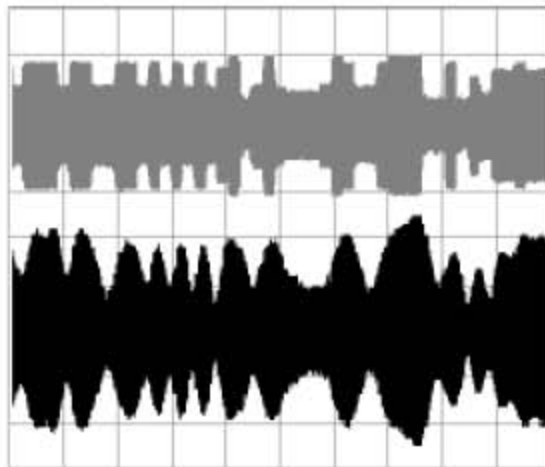


Figura 3.5.8. Efectos del filtro Nyquist sobre la envolvente de RF 8-VSB. En la parte superior de la figura se ve la envolvente de la doble banda lateral de frecuencia intermedia antes del filtrado de Nyquist. En la parte inferior de la imagen esta la misma señal de frecuencia intermedia después del filtrado de Nyquist. Las cuadraturas de las transiciones son pérdidas y la envolvente adquiere la apariencia como de ruido.

Al observar la figura 3.5.8 es natural pensar que se han perdido los 8 niveles de la señal y toda la información contenida en ellos, pero no es así.

### 3.5.2.2.3. Diagrama de ojo 8-VSB

El diagrama de ojo es la superposición de muchas trazas de la amplitud de la señal de RF en el receptor en el instante de muestreo. Aunque la señal de RF a la hora de ser muestreada en un intervalo de tiempo puede tomar cualquiera de los ocho niveles posibles, la convergencia de muchas trazas de la señal forman 7 ojos que coinciden con la ocurrencia de los pulsos de reloj en el receptor, como se muestra en la figura 3.5.9. Este diagrama es muy utilizado en aparatos de medición y prueba, si la señal es dañada durante la transmisión, estos ojos podrían cerrarse y desaparecer. Si esto sucede indica que la señal RF no tiene la amplitud correcta en el instante correcto.

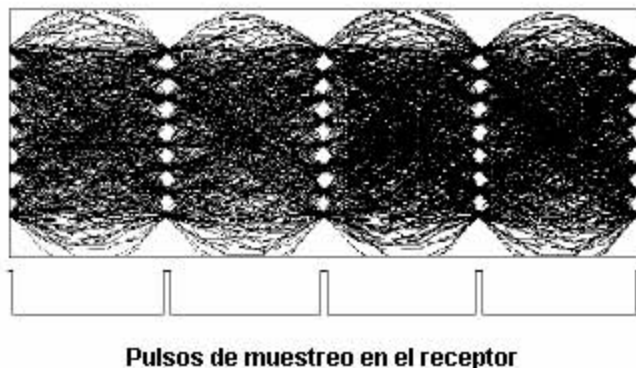


Figura 3.5.9. Diagrama de ojo 8-VSB.

### 3.5.2.2.4. Constelación de la señal 8-VSB

Otra representación de la señal 8-VSB muy popular en equipos de prueba es la constelación 8-VSB. Esta es una gráfica en dos dimensiones de la señal de RF en amplitud de la portadora y fase de cada muestra en el tiempo.

En VSB sólo se envía en diferentes amplitudes la información y la fase no es de interés como lo es en un sistema de QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura). La comparación entre 8-VSB y QAM se muestra en la figura 3.5.10.

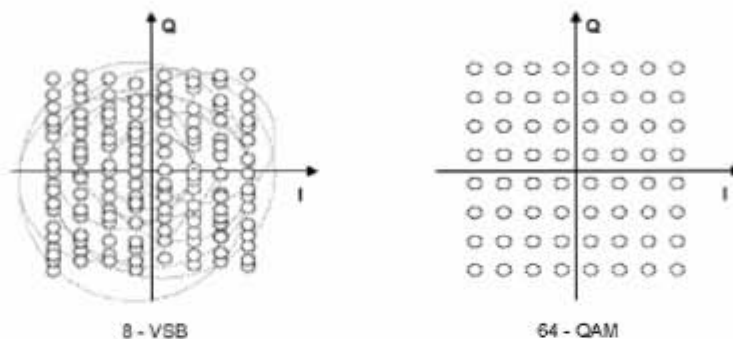


Figura 3.5.10. Constelación de la señal 8-VSB vs. 64 QAM.

En QAM los 8 niveles son recuperados por un detector de fase, y la constelación de la señal 8-VSB es por lo tanto una serie de 8 líneas verticales que corresponden a los 8 niveles de amplitud transmitidos. Las líneas que existen alrededor de la constelación 8-VSB indican que la portadora de RF está en constante cambio tanto en amplitud como en fase.

### 3.5.2.3. Conversor ascendente de RF

Después del filtro Nyquist VSB, la señal de frecuencia intermedia es convertida a una frecuencia portadora mayor para ser transmitida, esto se hace tradicionalmente con circuitos de oscilador-mezclador-filtro, para que quede dentro del canal en la banda VHF (Very High Frequency) o UHF (Ultra High Frequency) asignado. Posteriormente la señal pasa por un amplificador de potencia tradicional de radiofrecuencia. La última etapa es la antena, la cual transmite toda la potencia de la señal de acuerdo con los niveles de energía que recomienda el documento A/53 del estándar ATSC. La antena está diseñada con base en las necesidades de transmisión como son el patrón de radiación y el alcance requerido, así como la banda de frecuencia en la cual transmitirá. [6][30]

## 3.6 Receptor de TV digital terrestre

La introducción de un nuevo sistema de televisión debe de verse como una cadena de elementos que comienza con captura de imágenes y sonido y termina con un despliegue de imagen y reproducción de sonido. El sistema receptor de televisión digital es una parte vital en este proceso. Por necesidad, el sistema ATSC coloca requerimientos considerables en el receptor de televisión. La complejidad en los diseños de los nuevos sistemas y tecnologías ha ido en aumento conforme ha pasado el tiempo, el receptor de televisión digital no es la excepción ya que tiene un alto nivel de complejidad que sólo se ha hecho posible con los

grandes avances que se han logrado en el diseño y fabricación de circuitos integrados de gran escala.

A pesar de la complejidad significativa de un receptor de televisión digital, una de las metas que busca todo diseñador de un sistema de radiodifusión como la televisión es el concentrar todos los requerimientos de hardware en la transmisión tanto como se pueda, para que de esta forma se puedan hacer receptores tan simples y baratos como sea posible.

La figura 3.6.1 muestra el diagrama a bloques del sistema receptor VSB como se implementó con el prototipo de la Gran Alianza. Se puede observar que en el receptor de televisión digital se encuentran muchos de los principios y procesos que se usan actualmente en los receptores NTSC, sin embargo, la forma de llevarlos a cabo se hace de manera distinta, además de que se incluyen otros nuevos procesos necesarios para el tratamiento de las señales digitales.

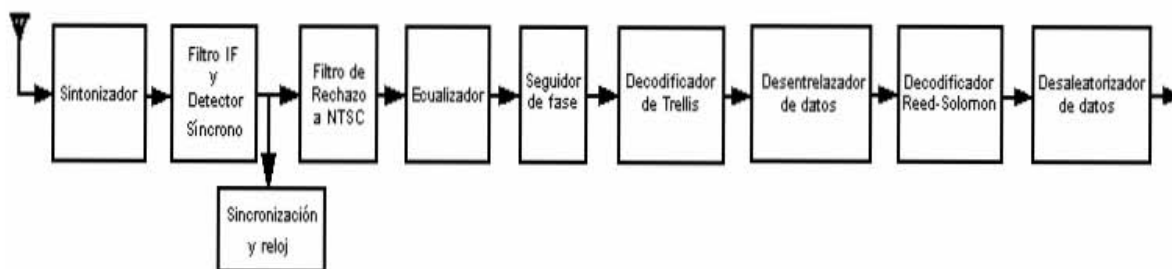


Figura 3.6.1. Diagrama de bloques del sistema de receptor VSB de televisión digital para el estándar ATSC.

Los elementos de circuito mayores incluyen:

- Sintonizador.
- Canal de filtrado y recuperador de la portadora VSB.
- Sincronización de segmento y recuperación del reloj.
- Filtro de rechazo de interferencia.
- Ecualizador de canal.
- Lazo seguidor de fase.
- Decodificador trellis.
- Desentrelazador de datos.
- Decodificador Reed-Solomon.
- Desaleatorizador de datos.

A continuación realizaremos una descripción de estos elementos del sistema receptor.

### 3.6.1 Sintonizador

El sintonizador básico se ilustra en la figura 3.6.2. Éste recibe una señal de 6 MHz, ya sea VHF o UHF de una antena exterior. El sintonizador es de conversión doble con una primera frecuencia intermedia (IF) de 920 MHz. Esto coloca las frecuencias imagen por encima de 1 GHz, haciendo que sean rechazadas más fácilmente por un filtro fijo frontal. Esta selección de la primera frecuencia intermedia es lo suficientemente alta para que la sensibilidad del filtro pasobanda de entrada impida filtraciones del oscilador local (978 a 1723 MHz) y que haya interferencias con otros canales UHF, además de que es lo suficientemente baja para que las segundas armónicas de los canales UHF (en el rango de 470 a 806 MHz) estén por encima de la primera banda de paso IF.

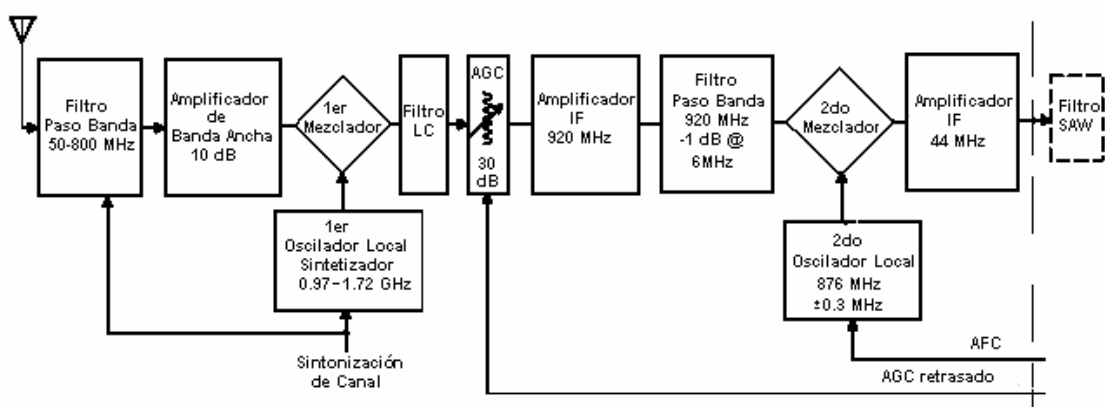


Figura 3.6.2. Diagrama de bloques del sintonizador.

La entrada del sintonizador tiene un filtro paso banda que limita el rango de frecuencia de 50 a 800 MHz, rechazando todas las demás señales que no son de televisión que pueden caer dentro del rango de frecuencia de imagen del sintonizador (más allá de 920 MHz). Adicionalmente, un filtro seguidor de banda ancha rechaza otras señales de televisión, especialmente aquellas de potencia más grande que la de la señal deseada. Este filtro seguidor no es estrecho ni críticamente sintonizado como en el caso de los sintonizadores NTSC de hoy día que deben de rechazar las frecuencias imagen únicamente a 90 MHz lejos del canal deseado.

Después se encuentra un amplificador RF de alta frecuencia que incrementa el nivel de la señal dentro del primer mezclador, y es el factor dominante que determina la figura de ruido del receptor (de 7 a 9 dB sobre las bandas enteras VHF, UHF y de cable). El primer mezclador, un circuito doblemente balanceado y altamente lineal diseñado para minimizar la generación de armónicas impares, es manejado por un oscilador local (LO) sintetizado de bajo ruido de fase, y con una frecuencia por encima de las frecuencias de las señales radiodifundidas seleccionadas para la recepción. El primer LO y los filtros pasobanda de entrada son controlados por un microprocesador.

El mezclador es seguido por un filtro LC en fila con un filtro cerámico estrecho y resonante en 920 MHz. Este filtro provee selectividad contra las respuestas falsas de armónicas y subarmónicas del resonador cerámico. Este filtro cerámico tiene un ancho de banda a -1dB de aproximadamente 6 MHz. Entre el filtro LC y el filtro cerámico se coloca un amplificador de frecuencia intermedia a 920 MHz. Inmediatamente después de filtro LC se tiene un control automático de ganancia (AGC) de la primera señal IF. Este circuito protege a los estados restantes de tener una sobrecarga de la señal.

El segundo mezclador es manejado por un segundo oscilador local, el cual es un oscilador de 876 MHz SAW (Surface Acoustic Wave) controlado por voltaje. El segundo oscilador se controla por un detector síncrono FPLL<sup>2</sup> (Frequency and Phase-Locked Loop). Este segundo mezclador, cuya salida es la segunda frecuencia intermedia deseada de 44 MHz, maneja a un amplificador de ganancia constante sintonizado a esa frecuencia. La salida del sintonizador alimenta al filtro SAW de frecuencia intermedia y a los circuitos de detección de sincronía.

<sup>2</sup> FPLL. El circuito FPLL consiste de un detector de frecuencia y un detector de fase para generar un control de voltaje para la sintonización del VCO (Voltaje Controlado Oscilador - Oscilador Controlado por Voltaje). En modo de captura (locked mode), el VCO se controla por el detector de fase, mientras que en el modo de no- captura (unlocked mode) el detector de frecuencia es sobrepuesto.

Conforme ha pasado el tiempo se han desarrollado diseños alternativos de sintonizadores. Los receptores prácticos de televisión digital con un rendimiento comercial aceptable se construyen ahora usando sintonizadores tanto de conversión simple como conversión doble.

### 3.6.2 Filtrado de canal y recuperación de la portadora VSB

El prototipo de receptor de la Gran Alianza genera señales portadoras analógicas en fase y en cuadratura a frecuencia intermedia, las cuales son usadas para implementar una detección de sincronía compleja de la señal de frecuencia intermedia VSB por métodos analógicos. Se reproduce una señal DTV compleja en banda base la cual tiene como componente real a una señal I en banda base resultante de la detección sincrónica en fase, y tiene otra señal DTV en banda base Q como parte imaginaria resultante de la detección sincrónica en cuadratura. El equipo receptor usa los componentes de la portadora piloto en ambas señales DTV de banda base I y Q para controlar la recuperación de la portadora. Todos los procedimientos subsecuentes de recuperación de la señal involucran únicamente la señal I en banda base.

La figura 3.6.3 ilustra las porciones del receptor que se usan para la recuperación de la portadora, incluyendo el FPLL. El primer oscilador local es sintetizado por un PLL (Phase-Locked Loop) y controlado por un microprocesador como se mencionó anteriormente. El tercer oscilador local es un oscilador de referencia de frecuencia fija. Cualquier desviación en frecuencia debe ser compensada con el segundo oscilador local con un control automático de frecuencia y fase (AFPC). Este control viene del detector sincrónico FPLL, el cual contiene un lazo de frecuencia y un lazo cerrado de fase en un circuito y que responde a la pequeña portadora piloto en la señal DTV recibida. El lazo de frecuencia provee un rango de captura de  $\pm 100$  kHz, a pesar de que el filtro pasobajas APC (Automatic Phase Control) tiene una frecuencia de corte menor a 2 kHz.

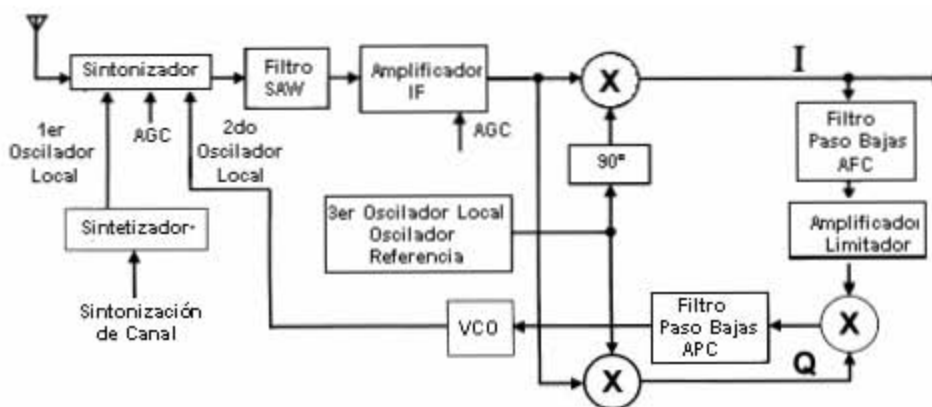


Figura 3.6.3. Diagrama de bloques del sintonizador, amplificador de frecuencia intermedia y el FPLL que permiten la recuperación de portadora.

Durante la adquisición de frecuencia, el lazo de frecuencia usa ambas señales piloto (I y Q). Todos los demás circuitos de procesamiento de datos en el receptor usan únicamente el canal de señal I. Antes de que se realice la captura de fase, la cual es la condición después de que un canal cambia, el filtro pasobajas AFC (Automatic Frequency Control) actúa en la señal de pulso creada por la diferencia en frecuencia entre el VCO (Voltaje Controlled Oscillator-

Oscilador Controlado por Voltaje) y la señal piloto entrante. Los datos de alta frecuencia (así como el ruido e interferencias) son en su mayoría rechazados por el filtro AFC, dejando únicamente la frecuencia de la señal de pulso. Después de limitar esta señal de pulso a una señal de forma cuadrada de amplitud constante, y usarla para multiplicar la señal de cuadratura, se filtra y se integra por el filtro pasobajas APC (Automatic Phase Control). Esta señal DC ajusta el segundo oscilador local del sintonizador para reducir la diferencia en frecuencia.

Cuando la diferencia se acerca a cero, el lazo APC adquiere y amarra la fase de la señal IF entrante con el tercer oscilador. Una vez amarrado, la señal piloto detectada es constante, la salida del limitador alimentando el tercer multiplicador está en una constante +1, y únicamente el PLL está activo (el lazo de frecuencia se desactiva automáticamente). El filtro paso bajas APC es lo suficientemente ancho para permitir de una manera confiable los  $\pm 100$  kHz de captura, pero también es lo suficientemente estrecho para rechazar de forma consistente el ruido blanco (incluyendo datos) y la interferencia adyacente de las señales NTSC.

### 3.6.3 Sincronía de segmento y recuperación del reloj

Las señales repetitivas de sincronización de segmento de datos son obtenidas, de entre de los datos aleatorios sincrónicamente detectados, por un filtro pasobanda estrecho. A partir de la sincronización del segmento de datos, se crea un reloj de símbolo apropiado de 10.76 MHz junto con una señal coherente de control AGC. En la figura 3.6.4 se muestra el diagrama a bloques del circuito de sincronización de segmento y recuperación del reloj

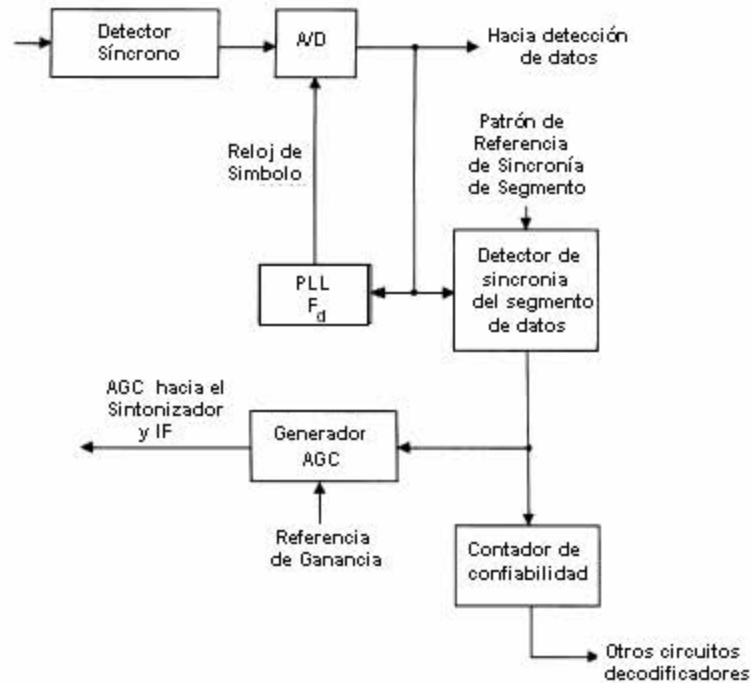


Figura 3.6.4. Sincronización de segmento y recuperación del reloj de símbolo con AGC.



El detector síncrono provee la señal de datos compuesta en banda base de canal I comprimiendo los datos y la secuencia de sincronización. Un convertidor A/D digitaliza el resultado de esta detección síncrona para su procesamiento digital. Un PLL deriva un reloj de símbolo de 10.76 MHz para el receptor. Con el PLL funcionando libremente, el detector de sincronía del segmento de datos que contiene un correlacionador síncrono de 4 símbolos busca los dos niveles de la sincronía de las secuencias del segmento de datos (DSS-Data Segment Sync) que ocurren cada cierto periodo de repetición. La sincronía del segmento de datos se detecta mientras que los datos que son aleatorios no, permitiendo al PLL capturar la sincronía muestreada del convertidor A/D, y por lo tanto proporcionar el reloj de sincronización del símbolo de datos. Hay un contador para el reloj detectado, que cuando alcanza un determinado nivel de certidumbre sobre si se ha encontrado la sincronización de segmento, habilita los siguientes lazos del receptor. Tanto la detección de la sincronía de segmento como la recuperación de reloj pueden trabajar confiablemente a una relación de señal a ruido de 0 dB o menos, y bajo la presencia de interferencia pesada.

#### 3.6.4 Control Automático de Ganancia

Antes de realizar la sincronización de reloj y de portadora, se realiza un control automático de ganancia no coherente siempre que alguna señal (capturada o no capturada, o cualquier ruido o interferencia) desborda al convertidor A/D. De esta manera las señales IF y RF se reducen con el AGC retrasado aplicado (retrasado es en relación a la señal anterior) para mantener al convertidor A/D dentro de su rango dinámico.

Cuando se detectan las señales de sincronía del segmento de datos ocurre un control automático de ganancia coherente usando las amplitudes medidas de la sincronización del segmento. La amplitud de las señales de sincronía (bipolar, es decir +V y -V) se determina en el transmisor. Cuando se detectan estas señales de sincronía en el receptor, se comparan con un valor de referencia con la diferencia (error) integrada. La salida del integrador controla las ganancias de la señal IF y RF, forzándolas a cualquiera que sea el valor aportado por las amplitudes de sincronización.

#### 3.6.5 Sincronización del campo de datos

La sincronización del campo de datos, que se muestra en la figura 3.6.5., se logra mediante la comparación de cada segmento de datos proveniente del convertidor A/D (después del filtrado de rechazo a interferencia para evitar la interferencia co-canal) con las señales de referencia ideales campo #1 y campo #2. El sobremuestreo del campo de datos no se hace necesario debido a que se ha obtenido de manera confiable un segmento de datos y un reloj de símbolo en el circuito recuperador de reloj. Por lo tanto, el circuito recuperador de la sincronía de campo sabe exactamente dónde ocurrirá una correlación válida de sincronía de campo dentro de cada segmento de datos, y necesita únicamente realizar una diferencia de símbolo a símbolo.

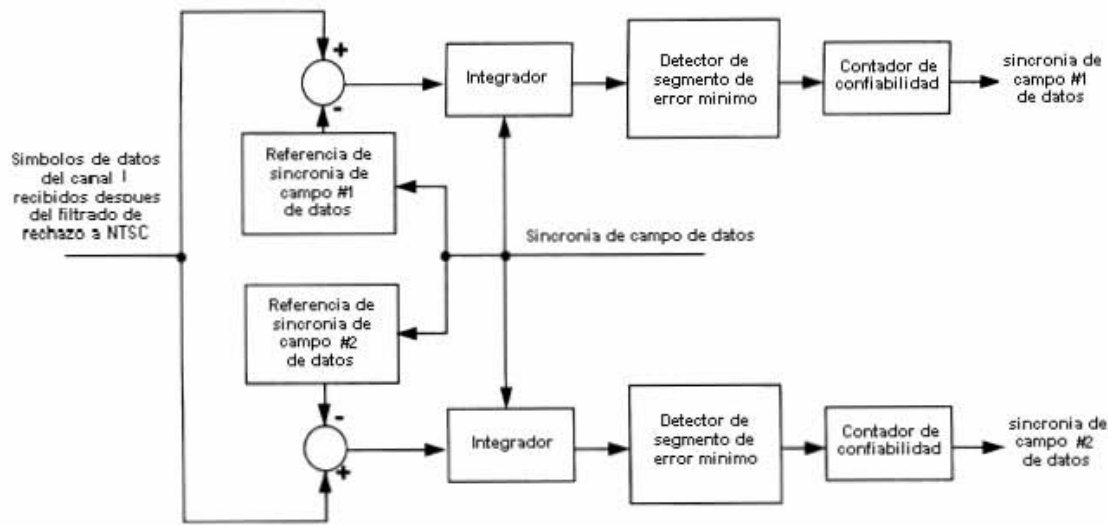


Figura 3.6.5. Recuperación de la sincronía del campo de datos.

Cuando se alcanza un determinado nivel de confiabilidad (usando un contador) se dice que se ha detectado la sincronización de campo en un segmento de datos dado y esta señal de sincronización se encuentra después disponible para su uso en subsecuentes circuitos. La polaridad de la señal de en medio de las tres secuencias pseudoaleatorias (PN) alternándose de 63 bits determina si se detecta el campo #1 o el campo #2. Este procedimiento hace que la detección de la sincronía de campo sea más robusta, aun en presencia de mucho ruido, interferencia y fantasmas de las señales.

### 3.6.6 Filtro rechazador de interferencia

Las propiedades del rechazo de interferencia del sistema de transmisión VSB están basadas en la ubicación en frecuencia de las principales componentes de la señal NTSC co-canal interferente dentro del canal de televisión de 6 MHz y los nullos periódicos del filtro de peine de banda base del receptor VSB. La figura 3.6.6.a) muestra la ubicación y magnitudes aproximadas de los tres principales componentes de la señal NTSC:

- La portadora de video, localizada a 1.25 Mhz del limite de banda inferior.
- La portadora de crominancia C, localizada a 3.58 MHz más arriba que la frecuencia de portadora de video.
- La portadora de audio, localizada a 4.5 MHz más arriba que la frecuencia de portadora de video.

Si hay expectativas de que en el área de recepción para una estación difusora de DTV se sufrirá interferencia co-canal de una estación difusora NTSC, la estación de DTV generalmente desplazará su portadora a una frecuencia de 28.615 kHz más lejos del límite inferior de frecuencia del canal. Como se muestra en las figuras 3.6.6.c) y 3.6.6.d), la portadora piloto de datos se coloca a 338.056 kHz de distancia del limite inferior de frecuencia de canal, en vez de los 309.44 kHz nominales.

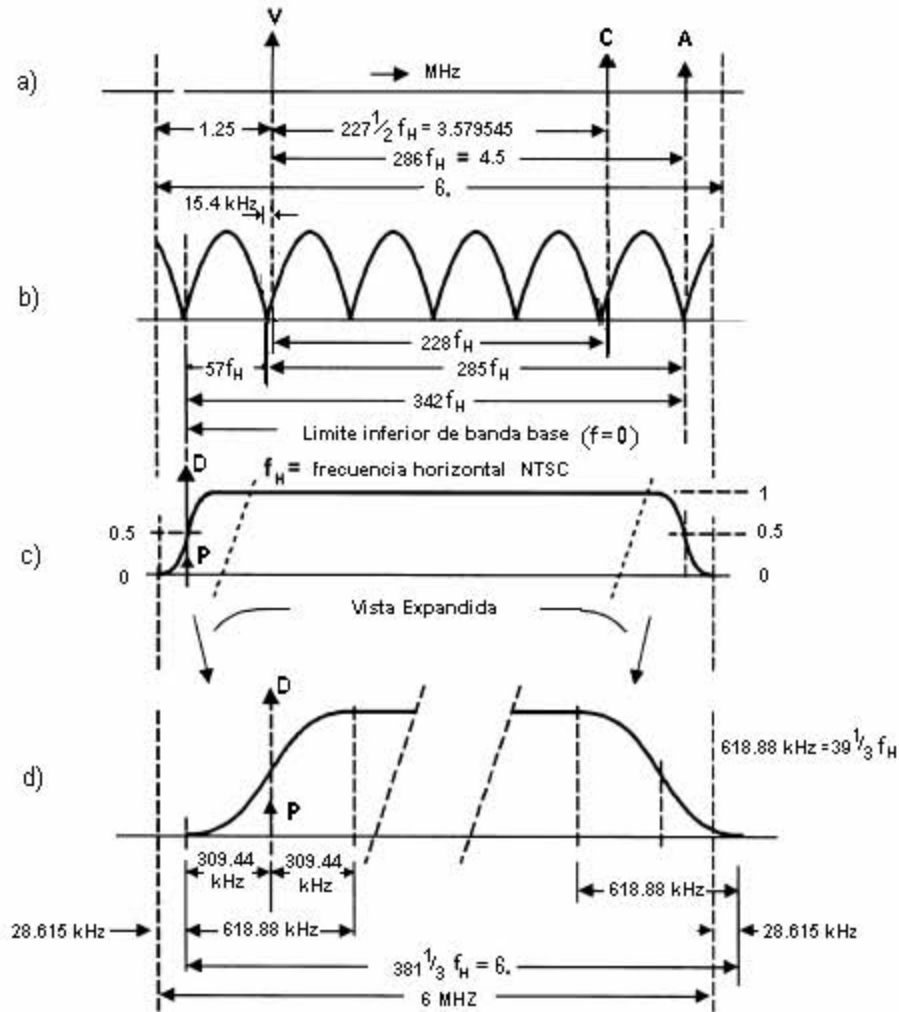


Figura 3.6.6. a) componentes de la señal NTSC, b) respuesta del filtro peine, c) espectro de la señal de televisión digital, d) espectro de la señal de televisión digital desplazada.

La figura 3.6.6.b) ilustra la respuesta en frecuencia del filtro peine, el cual proporciona nulos espectrales periódicos espaciados  $57 \times f_H$  (10.762 MHz/12 ó 896.85 kHz) de separación. Dentro del canal de 6 MHz existen 7 nulos. Comparando las figuras 3.6.6.a) y 3.6.6.b) se muestra que la portadora de video cae 15.091 kHz encima del segundo nulo del filtro, la portadora de color cae 7.224 kHz por encima del 6 nulo del filtro y la portadora de audio cae 30.826 kHz por encima del séptimo nulo.

Aunque el filtro peine reduce la interferencia NTSC, los datos son también modificados. Los 7 ojos de datos (8 niveles) se convierten a 14 ojos de datos (15 niveles). Esta conversión es causada por el *proceso de respuesta parcial*, el cual es un caso especial de interferencia intersimbólica que no cierra el ojo de datos, pero crea un número doble de ojos de la misma magnitud. Los datos modificados pueden ser apropiadamente decodificados con el decodificador de trellis.

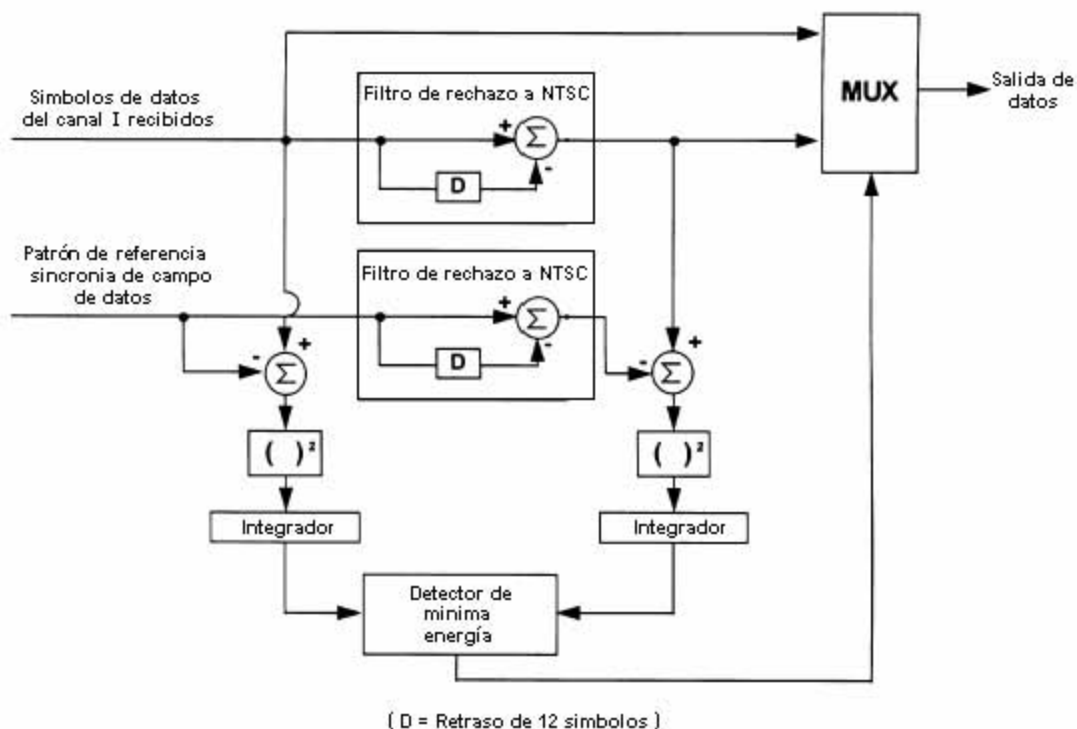


Figura 3.6.7 Circuito de rechazo a interferencia.

La interferencia NTSC puede ser rechazada de una manera automática por el circuito mostrado en la figura 3.6.7, el cual determina cuando el filtro NTSC es efectivo o no para reducir la interferencia más ruido en su respuesta comparado con la interferencia más ruido en la señal de entrada. La cantidad de ruido más interferencia acompañando a la señal recibida durante la sincronización del campo de datos es medida mediante la comparación de la señal recibida con una referencia de la sincronía de campo que está guardada internamente. Por otro lado, la interferencia más ruido que acompaña la respuesta del filtro de rechazo a NTSC durante el intervalo de sincronía del campo de datos se mide con la comparación de esta respuesta con una versión filtrada de la sincronía de campo de referencia guardada internamente. Ambas medidas de interferencia más ruido se elevan al cuadrado y se integran sobre un pequeño intervalo de sincronía de campos de datos. Después de que se alcanza un cierto nivel de confiabilidad, un multiplexor es condicionado a seleccionar la señal que tenga la potencia más baja de interferencia más ruido (la señal sin filtrar o la filtrada) para que lleve los datos a lo que resta del receptor.

Esto se hace con la intención de no dejar en todo momento funcionando el filtro peine, ya que mientras provee el rechazo de la interferencia co-canal, también posee cierta degradación respecto al ruido blanco de la señal, ya que lo aumenta. Cuando hay poca interferencia NTSC o no hay, el filtro automáticamente se apaga y pasa la señal directamente. Cuando ya no haya más transmisiones en NTSC y se lleve a cabo la transición completa a televisión digital, este filtro va a poder ser omitido de los receptores.

### 3.6.7 Ecuador de canal

El ecualizador o cancelador de fantasmas compensa las distorsiones lineales del canal. Estas distorsiones se pueden originar en el canal de transmisión o resultar de las imperfecciones de los componentes dentro del receptor. El ecualizador usa un algoritmo LMS (least-mean-square) y que puede adaptarse en la secuencia binaria de instrucciones transmitida, así como con los datos aleatorios. El algoritmo LMS computa la forma de cómo ajustar las etapas del filtro para reducir el error presente en la salida del ecualizador. El sistema hace esto generando un estimado del error presente en la señal de salida (respuesta ecualizada). Esta señal de error es después utilizada para computar una correlación cruzada con varias señales retrasadas. Este ecualizador es adaptable, lo que significa que debe de realizar los ajustes necesarios dependiendo de la señal recibida, ya que los efectos multitrayectoria que provocan los fantasmas de las señales dependen de varias condiciones y están en constante cambio. Por lo tanto, las correlaciones corresponden al ajuste que se necesita hacer para cada canal del filtro (filter tap) para reducir el error en la salida. El ecualizador del algoritmo puede realizar la ecualización de tres formas:

- Adaptarse en la secuencia de instrucciones binarias prescritas en las señales de sincronización de campo (señales DFS-Data Field Sync).
- Adaptarse en los símbolos de datos a través del frame cuando los ojos están abiertos.
- Adaptarse en los símbolos de datos cuando los ojos están cerrados (ecualización a ciegas)

La principal diferencia entre estos tres métodos es cómo se genera la estimación del error.

Para adaptarse en la secuencia de instrucciones, la señal de instrucciones presenta un patrón fijo de datos en el flujo de éstos, la cual se guarda en una memoria ROM. El circuito de recuperación de sincronización de campo determina las veces que se espera recibir la secuencia de instrucciones binarias. De esta manera, el receptor genera el error exacto de recepción únicamente sustrayendo la secuencia de instrucciones de la salida del ecualizador.

Sin embargo, la secuencia de instrucciones por sí sola no puede ser suficiente para rastrear fantasmas dinámicos debido a que estas condiciones requieren ajustes de los canales de los filtros más a menudo que en lo que se transmite la secuencia de instrucciones. Por consiguiente, después de que la ecualización se logra, el ecualizador puede cambiar a adaptar en los símbolos de datos a través del frame, y puede producir una estimación precisa de error partiendo los datos con un particionador (slicer) de 8 niveles y sustrayéndola de la señal de salida.

Para fantasmas dinámicos de mayor rapidez como las vibraciones de los aviones es necesario usar el modo de ecualización a ciegas para ayudar en la adquisición de la señal. La ecualización a ciegas modela la señal multinivel como una señal de datos binaria más ruido, y el ecualizador produce una estimación del error detectando el signo de la señal de salida y sustrayendo una señal binaria (escalada) de la salida.

Para desarrollar el algoritmo LMS, la estimación del error (producida usando la secuencia de instrucciones, la particionadora de 8 niveles o la particionadora binaria) se multiplica por copias retrasadas de la señal. El retraso depende de cuál canal del filtro se esté actualizando. Esta multiplicación produce una correlación cruzada entre la señal de error y la señal de datos. El tamaño de la correlación corresponde a la amplitud de los fantasmas residuales presentes en la salida del ecualizador e indica cómo ajustar las etapas de los filtros para reducir el error a la salida.

Un diagrama de bloques del ecualizador se muestra en la figura 3.6.8. Primeramente se remueve la componente de directa de la señal de entrada mediante una sustracción, ya que

puede ocasionar no linealidades o desfases en la señal piloto causados por los fantasmas. Esta componente de DC se rastrea midiendo la componente de DC de la señal de instrucciones.

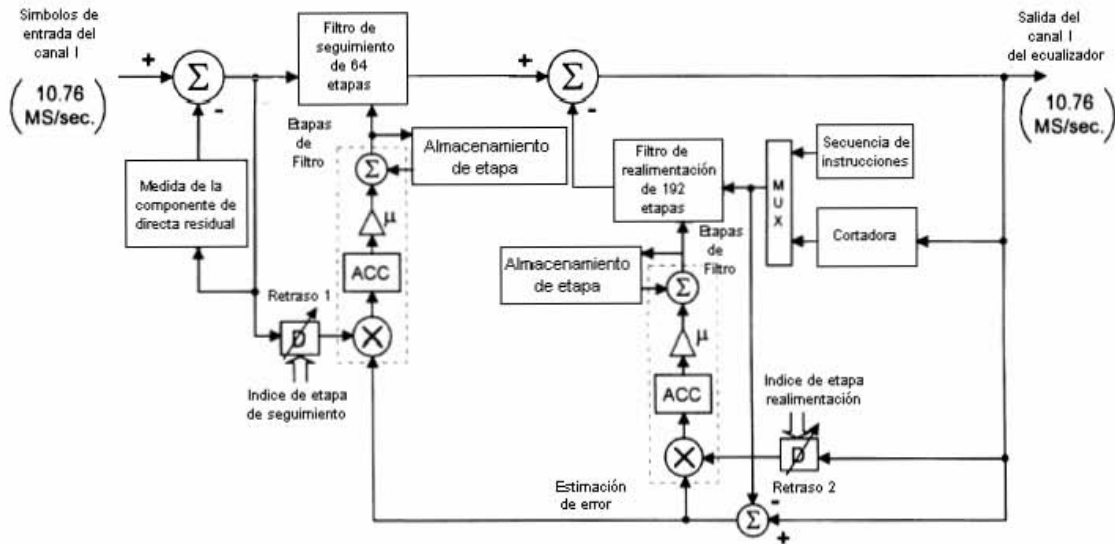


Figura 3.6.8. El ecualizador consiste de dos partes; un filtro transversal de seguimiento de 64 etapas seguido por un filtro de 192 etapas realimentado. El ecualizador opera a una velocidad de símbolo de 10.762 MHz.

El filtro ecualizador consiste de dos partes, un filtro de 64 canales transversal de seguimiento, seguido de un filtro de 192 canales de realimentación. Este ecualizador opera a la velocidad de símbolo de 10.762 MHz como un ecualizador sincronizado.

Se puede observar que las salidas de los dos filtros son sumadas para producir la respuesta del ecualizador. Esta respuesta se parte en 8 niveles (o 15 cuando se usa el filtro peine) o en niveles binarios, dependiendo de si los ojos de datos están abiertos o cerrados. Esta señal partida tiene la señal de instrucciones y las señales de sincronización de segmentos reinsertadas dado que éstas son patrones fijos de la señal. La señal resultante se alimenta al filtro de alimentación por un lado, y por el otro se sustrae de la señal de salida (o de la respuesta del ecualizador) para producir la estimación del error. Este error de estimación se correlaciona con la señal de entrada (para el filtro de seguimiento) o con la señal de salida (para el filtro de realimentación). Esta correlación es escalada por un parámetro de medición y es usada para ajustar el valor del cambio del canal del filtro. El ajuste de los retrasos se controla de acuerdo con el índice del canal del filtro que se esta ajustando.

### 3.6.8 Lazo seguidor de fase

En la señal de un oscilador la potencia principalmente se acumula en la frecuencia central, sin embargo algo de esta potencia es distribuida sobre las bandas laterales de la frecuencia central del oscilador. Estas componentes de frecuencia creadas son no deseadas y se les conoce como ruido del oscilador, éste puede tener diferentes impactos sobre el desarrollo del sistema, uno de los cuales es el ruido de fase. En un receptor el ruido de fase del oscilador local se mezcla con la señal de información y puede provocar que se genere una nueva señal con una frecuencia no deseada, pudiendo además esta frecuencia estar dentro de la banda de paso del sistema de frecuencia intermedia. Esto generaría dos señales con la misma información pero desfasadas provocando el efecto de imagen fantasma.

El lazo seguidor de fase es un lazo de realimentación de decisión que rastrea el ruido de fase que no ha sido removida por el PLL de frecuencia intermedia operando en la señal piloto. Así, el ruido de fase es rastreado por dos lazos concadenados. Debido a que el sistema ya está previamente amarrado o capturado en frecuencia a la señal piloto por el PLL de frecuencia intermedia, el ancho de banda del lazo seguidor de fase se maximiza para el rastreo de fase usando un lazo de primer orden. Los lazos de un orden mayor, que se necesitan para el rastreo de frecuencia no realizan el rastreo de fase tan bien como un lazo de primer orden, por lo tanto se usan en el sistema VSB.

### 3.6.9 Decodificador trellis

Para ayudar a proteger al decodificador trellis contra ráfagas de interferencias, como ruido impulsivo o interferencia NTSC co-canal, en el transmisor se utiliza un entrelazado entre segmento de código de 12 símbolos. Como se muestra en la figura 3.6.9, el receptor usa 12 decodificadores trellis en paralelo, donde cada decodificador trellis ve cada doceavo símbolo. Este desentrelazado de código tiene los mismos beneficios en cuanto a las ráfagas de ruido que el desentrelazador de código de 12 símbolos, pero también minimiza la expansión de código resultante (y hardware) cuando el filtro peine de rechazo a NTSC está activo.

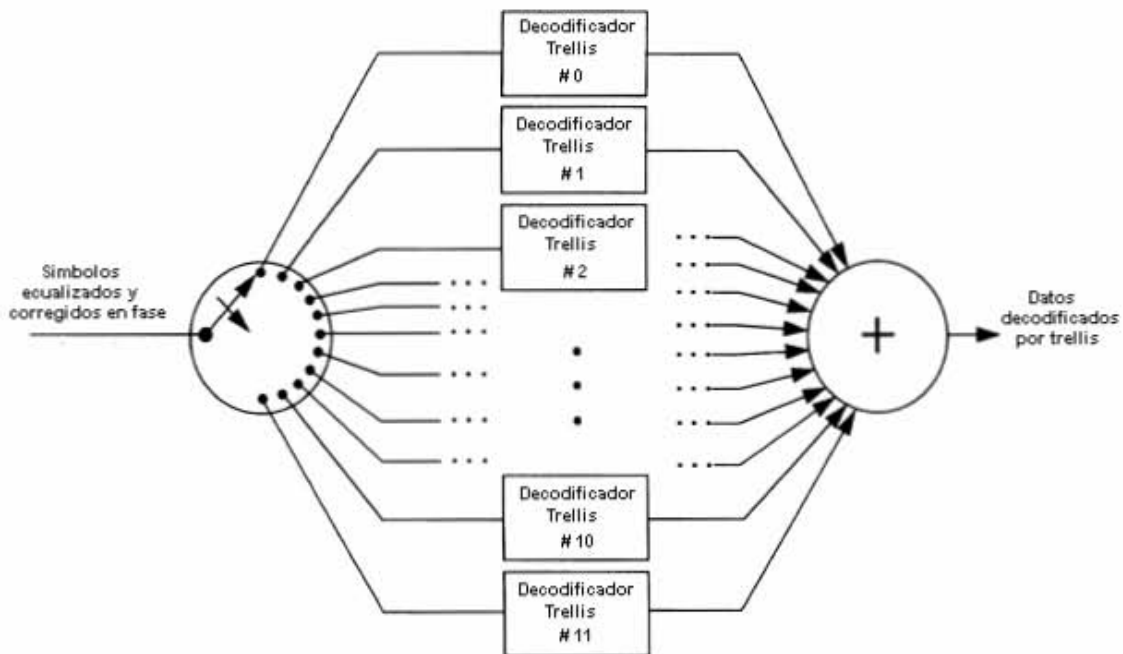


Figura 3.6.9. Desentrelazador de código trellis

Antes de que la señal 8 VSB pueda ser procesada por el decodificador de trellis es necesario remover la sincronía de segmento. Esto es debido a que la sincronía de segmento no es codificada en el transmisor.

El decodificador de trellis realiza las tareas de partición y decodificación convolucional. Éste tiene dos modos de operación: uno cuando el filtro de rechazo NTSC se usa para minimizar la interferencia co-canal NTSC, y otra cuando no se usa este filtro. Esto se ilustra en la figura 3.6.10. Cuando no hay interferencia co-canal o hay muy poca y por lo tanto no se utiliza el filtro de rechazo a NTSC entonces se tiene un estado óptimo del decodificador de trellis con el que se decodifican los datos codificados en 4 estados (a 2 bits). Los bits seriales son regenerados en el mismo orden en los que se generaron en el decodificador.

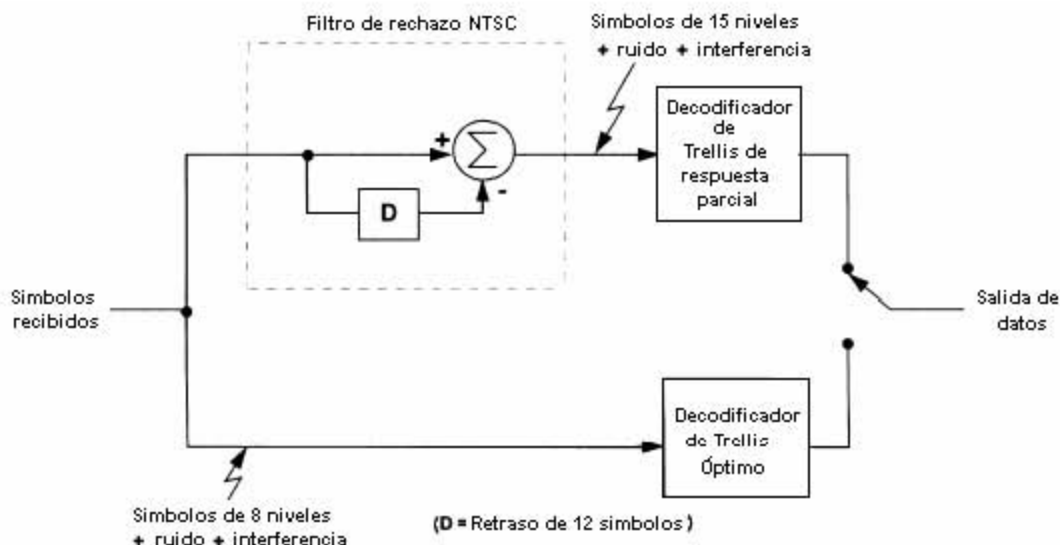


Figura 3.6.10. Decodificación de trellis con y si filtro de rechazo NTSC

En la presencia de interferencia NTSC co-canal significativa, y que por lo tanto se emplee el filtro de rechazo, se usa un codificador trellis optimizado para esta respuesta parcial. Este código óptimo requiere 8 estados (3 bits). Esto es necesario debido a que el filtro de rechazo NTSC, el cual tiene memoria, representa otra máquina de estados vista a la entrada del decodificador trellis. Para minimizar esta expansión de estados de trellis, se toman dos medidas: primero, se hace un diseño especial de decodificador de trellis; y segundo, se hace un entrelazado de 12 a 1 en la codificación trellis. El entrelazado, el cual corresponde exactamente con el retraso de 12 símbolos que se presenta en el filtro de rechazo NTSC, asegura que cada decodificador trellis vea únicamente un símbolo de retraso del filtro de rechazo NTSC.

Con la minimización de los estados de retraso vistos por cada decodificador de trellis también se minimiza la expansión de estados. Únicamente se paga una pena de 3.5 dB de ruido blanco como precio por tener un buen funcionamiento de co-canal NTSC (3 dB del filtro peine y 0.5 dB de la codificación diferencial de 12 símbolos).

El hardware del decodificador puede ser construido para realizar la decodificación de 8 estados y 4 estados sin la necesidad de tener dos decodificadores separados para ambos modos. Un decodificador trellis de 8 estados requiere un poco menos de 500 compuertas.

Después del periodo de transición, cuando ya no se transmita más en señales NTSC, el filtro de rechazo a NTSC y el decodificador de 8 estados de trellis se podrán eliminar de los receptores de televisión digital.

### 3.6.10 Desentrelazador de datos

El desentrelazador convolucional realiza las funciones inversas del entrelazador convolucional del transmisor. Tiene 1/6 de duración del campo de datos (aproximadamente 4 ms) y sus propiedades de "dispersión" dentro del segmento permiten que ráfagas de ruido de una duración tan larga como de 193  $\mu$ s sean corregidas correctamente dentro de los circuitos de corrección de errores Reed-Solomon (del tipo que localiza y corrige errores). Aun si hay fuertes señales interferentes NTSC de co-canal que pase a través del filtro de rechazo NTSC, y que creen ráfagas cortas sensibles a los límites verticales NTSC, son suprimidas de una manera confiable por este desentrelazador y el proceso de corrección Reed-Solomon (R-S).



### 3.6.11 Decodificador Reed-Solomon

Los bytes de datos decodificados mediante trellis y desentrelazados son enviados al decodificador Reed-Solomon. Como se mencionó en la sección 3.5.1.2., éste utiliza una paridad de 20 bits (etiqueta de identificación digital) para realizar la localización y corrección de bytes erróneos en una base de segmento a segmento y se pueden corregir hasta 10 bytes erróneos por segmento de datos. Si hay muchos bytes erróneos por segmento, el receptor no podrá hacer coincidir la etiqueta de paridad con suficiente certeza en ningún paquete y por lo tanto la validez de los datos no puede confirmarse.

Primero se compara el bloque de 187 bytes con los 20 bytes de paridad para determinar la validez de los datos recuperados. Si se detectan errores, el receptor determina que la etiqueta de identificación (los 20 bytes) ya no corresponde a los contenidos del paquete y busca un paquete similar que mejor coincida con la etiqueta recibida (por ejemplo parecido pero con solo unas posiciones de bits diferentes).

Para las ráfagas de errores creados por ruido impulsivo, interferencia co-canal NTSC que son menores a  $193 \mu s$  son corregidos por la combinación del desentrelazador y el proceso de corrección de errores R-S (es más fácil para el decodificador R-S corregir errores si éstos están separados a través de todo el segmento que si se encuentran juntos, la separación se logra con el desentrelazador).

### 3.6.12 Desaleatorizador de datos

El aleatorizador de datos en el transmisor se logra mediante una secuencia pseudoaleatoria (PRS). Esto se hace para que si se da el caso en que haya patrones de repetición en las secuencias de bits, al ser modulados en RF, no haya una acumulación de energía sólo en algunas frecuencias mientras que en otras no exista energía a lo largo del canal de 6 MHz. El proceso de desaleatorización únicamente consiste en aplicar el mismo código PRS que se aplicó en el transmisor a los datos corregidos provenientes del decodificador R-S. Este código es generado de manera idéntica que en el transmisor. Los datos de salida de este bloque representan los paquetes de información de audio, video y datos que se encuentran multiplexados. [2][3][33]

## Capítulo 4. Implantación del estándar ATSC en México

---

### 4.1 Metodología de las pruebas de campo de la Televisión Digital Terrestre

Una característica importante en las pruebas de campo de DTV es que los radiodifusores están aplicando métodos de recolección de datos estandarizados, al igual que la metodología de análisis de estos datos. La primer metodología fue desarrollada para las pruebas que realizó ACATS (Advisory Committee on Advanced Television Service) en Charlotte, Carolina de Norte, Estados Unidos, y que después serían redefinidas por el subcomité técnico de la “Estación Modelo de HDTV” para las pruebas realizadas en Washington por los primeros radiodifusores de DTV. La Estación Modelo, un proyecto sostenido por todos los radiodifusores y fabricantes de equipo en Estados Unidos, desarrolló planes de pruebas de campo tanto para interiores como exteriores para que las realizara todo aquel radiodifusor que lo deseara y contribuyera a la base de datos de ese país.

La ventaja de usar una metodología estandarizada es para asegurarse de que se realice una recolección de datos de manera consistente, así como el análisis de éstos y poder permitir la comparación con resultados de diferentes lugares y condiciones.

Algunas de las técnicas usadas para la realización de las pruebas son las mismas que se aplicaron en su momento para la realización de las pruebas de campo de NTSC. Toda esta metodología para la medición de señales de DTV, así como otros aspectos concernientes a la radiodifusión, han sido englobados por la FCC en sus documentos CFR (Coded Federal Regulations). Más recientemente, a sugerencia de algunos radiodifusores, entre ellos Televisa, la organización ATSC redactó el documento A/75 como una recomendación para desarrollar los planes de pruebas de campo de su sistema. Las técnicas que se mencionan en este último documento están basadas precisamente en las reglas CFR, título 47 parte 73 de la FCC, que es el correspondiente a la radiodifusión de televisión y radio.

En principio, las mediciones de campo de la televisión digital se pueden dividir en dos tipos básicos:

- a) Cobertura y rendimiento del sistema.
- b) Evaluación de los equipos receptores para consumidores.

La cobertura se define como la determinación de las intensidades de campo actuales medidas para una instalación transmisora. Existen generalmente dos propósitos para las mediciones de cobertura: 1) determinar el funcionamiento adecuado de la antena transmisora y, 2) proporcionar datos adicionales para algoritmos de propagación que puedan usarse para la planeación de asignación de espectro y la estimación de interferencia potencial.

Las pruebas de servicio se hacen para determinar las condiciones de operación bajo las cuales las señales de televisión digital puedan ser recibidas y decodificadas. Tales condiciones de operación incluyen cualquier lugar donde normalmente se usan receptores de televisión para entretenimiento e información en periodos de tiempo cortos y largos. Estas condiciones de operación incluyen el uso de antenas seleccionadas como aquellas que probablemente se usarán en alguno de los modos de recepción bajo prueba, ya sea en modo fijo, portátil (recepción en dispositivos portátiles con su propia antena, pero que durante su operación están fijos), peatonal (a menos de 5 km/h de velocidad) o móvil (a más de 5 km/h de velocidad).

Para determinar la cobertura o disponibilidad de servicio, así como también el rendimiento del sistema de transmisión digital, normalmente se usa un demodulador de televisión digital que tenga la capacidad de proveer los parámetros necesarios de la señal y el canal de transmisión para su posterior evaluación. Los resultados de este tipo de receptor proporcionan una referencia y una meta para los diseñadores de receptores para consumidores. El demodulador debe tener ciertas características como capacidad de medición de relación S/N en la entrada y salida del ecualizador, así como también la energía de canal (es la energía total en todos los canales del ecualizador, relativas a la energía del canal principal), que provee una buena indicación de qué tanta corrección de distorsión lineal del canal digital de televisión se está haciendo.

Otro punto importante respecto a las pruebas de cobertura y disponibilidad de servicio es que hay dos tipos de métodos. El primer método consiste en pruebas en localidades variables, es decir que consiste en visitar tantos lugares como se pueda y realizar mediciones en éstos durante un corto periodo de tiempo (aproximadamente 10 minutos, el mínimo de tiempo debe ser de 5 minutos). El otro método consiste en pruebas de tiempo variable, aunque es igualmente importante, es un proceso que requiere un mayor consumo de tiempo ya que en este caso las mediciones se realizan en unas pocas localidades pero durante un periodo de tiempo mucho mayor como puede ser todo un día, o incluso semanalmente o por temporadas del año.

Como se mencionó en párrafos anteriores, parte de la metodología de pruebas de campo para la televisión digital fueron adoptadas de las técnicas de medición que se usaron para medir la señal NTSC en su momento. Más específicamente, en todas las pruebas oficiales de televisión digital se usan antenas receptoras de 9.1 metros de altura (30 pies) sobre el nivel del suelo (AGL). También lo es la configuración de cómo se van a realizar las mediciones en los sitios de prueba, las cuales son en radiales, arcos y enramados, los cuales se explicarán posteriormente.

Todas las medidas de potencia de televisión digital son tomadas como potencia promedio a lo largo del canal de 6 MHz debido a la característica aleatoria tipo ruido de la señal DTV. Las mediciones de la intensidad de campo (dB $\mu$ V/m) se realizan también a través de los 6 MHz, al contrario de las mediciones NTSC donde únicamente se mide la intensidad de campo en la banda estrecha del pico de sincronización.

La ventana de 10 minutos en las mediciones de prueba de campo se eligió así para observar cualquier desvanecimiento de la señal de corta duración y de esta forma tener una mejor percepción de la recepción de DTV y la disponibilidad de servicio en el sitio de prueba. Si se obtiene una tasa menor a 2.5 errores de segmento/segundo entonces el sitio se considera aceptable. Esta tasa fue considerada como el umbral de visibilidad (TOV-threshold of visibility) durante las pruebas de laboratorio de DTV que se realizaron en Estados Unidos.

#### 4.1.1 Plan de pruebas para DTV

Después de poner una señal de DTV en el aire en un canal dado de VHF o UHF a una Potencia Radiada Efectiva (Effective Radiated Power, ERP) y a una altura sobre el nivel del suelo promedio (HAAT-Height Above Average Terrain), el radiodifusor comienza determinando específicamente cuáles áreas de estudio se van a considerar, mientras que para un radiodifusor puede ser importante determinar la cobertura y disponibilidad de servicio, para otro su principal objetivo puede ser la comparación entre antenas transmisoras con diferentes polarizaciones como la polarización horizontal o circular. Algunos otros objetivos para la realización de las pruebas pueden ser también:

- Comparación entre diferentes sistemas de transmisión digital.
- Comparación entre sistemas de transmisión digital con sistemas analógicos.
- Comparación entre varios componentes transmisores y receptores.
- Comparación entre componentes de diferentes generaciones.
- Comparación entre distintos tipos de ambientes.

Algunas de las pruebas están basadas únicamente en recepción al aire libre mientras que en otras también se incluyen pruebas para recepción en interiores

El plan de pruebas de DTV comienza con la elección del número de sitios para realizar las pruebas y mediciones, así como la ubicación de éstos. El número de sitios tiene que ser estadísticamente relevante, por lo regular más de 100 sitios (preferiblemente más de 200). Si hay una estación NTSC localizada físicamente cerca del transmisor de DTV y en frecuencias inmediatas, entonces el plan de pruebas debe de incluir la medida de esta señal y la comparación de la recepción analógica de NTSC con aquella de la señal digital ATSC.

Los sitios de prueba pueden ser urbanos, suburbanos o rurales, así como áreas altamente pobladas dentro del área de cobertura. En el documento A/75 de ATSC se hacen una serie de definiciones y recomendaciones para las distintas configuraciones de medición:

- **Radiales.** La forma de medir de manera radial proporciona las medidas de disponibilidad de servicio y desempeño del sistema conforme a la distancia para una potencia radiada efectiva constante y en un ángulo de acimut fijo (ganancia de la antena constante). El plan de pruebas usualmente se hace para un determinado número de radiales extendiéndose a partir del sitio de transmisión. Debe haber un mínimo de 8 radiales uniformemente espaciados con un mínimo de 15 puntos por radial. Los puntos de medición comienzan a partir de los 16.1 km (10 millas) de la antena transmisora y cada punto de medición debe repetirse en intervalos de 3.2 km (2 millas). En un 20% de las mediciones se recomienda incluir medidas móviles con recolección de datos continua en una distancia de unos 30.5 m (100 pies).
- **Arcos.** Este es otro método común que se usa en las mediciones de DTV, con esto se logra observar la recepción que se tiene contra diferentes terrenos, aunque en este caso, la ERP puede variar con los diferentes ángulos de acimut debido al patrón de radiación de la antena transmisora. Los arcos deben ser medidos normalmente alrededor de los 360° completos de acimut, excepto donde no lo permitan las condiciones del terreno. Los puntos individuales de medición deben de ser con un espaciamiento de 20° o menor.
- **Cuadrículas y Enramados (clusters).** Existe otro método el cual se utiliza para sitios de prueba de espacios cerrados y por lo tanto se usa comúnmente en áreas urbanas o suburbanas, éste consiste en realizar las mediciones mediante cuadrículas (con 1.6 km o 1 milla de separación) o enramados (clusters), provee una buena percepción de la calidad de la recepción de DTV en áreas más pobladas con “caos urbano”. Las medidas de enramado consisten en un mínimo de 5 puntos de medición, uniformemente espaciados, para recolectar datos en un espacio de aproximadamente 9 longitudes de ondas cuadradas. Si se van a medir señales en múltiples frecuencias, las medidas de enramado se deben definir en un área de 9 metros cuadrados (3 metros por lado). Las locaciones individuales de medición se deben de seleccionar de manera que se puedan realizar las medidas múltiples sobre un área especificada y debe de haber una distancia de 0.8 km ó 0.5 millas de separación entre cada enramado o cluster. El propósito de realizar las mediciones de esta manera es el promediar el efecto de las multitrayectorias y obstrucciones circundantes que de otra forma pueden afectar adversamente el valor medido. En la figura 4.1.1 se muestran los patrones sugeridos de los puntos de medición de los clusters.

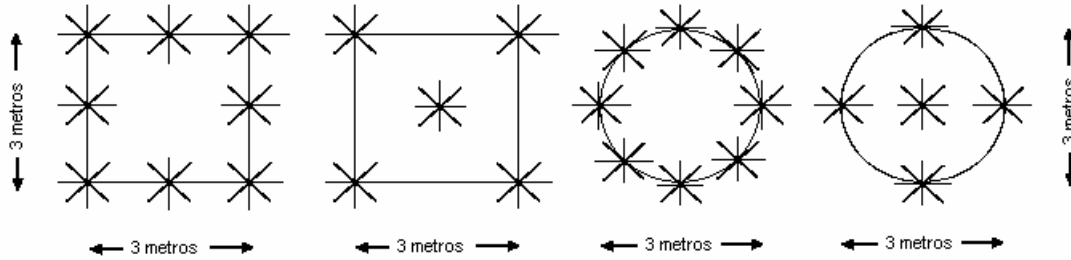


Figura 4.1.1. Patrones sugeridos en el documento A/75 de ATSC para la medición de clusters

Finalmente existen lugares de pruebas que no se pueden incluir en ninguna de las categorías anteriores y los cuales están considerados como sitios “especiales”.

Todos estos sitios de prueba (urbanos, suburbanos y rurales) deben ser seleccionados para proporcionar una buena base estadística para el cálculo de la disponibilidad de servicio en el área de cobertura determinada del radiodifusor y deben tener un acceso razonable para el vehículo con el que se realizan las pruebas de campo.

#### 4.1.2 Procedimientos de medición en exteriores

Durante las pruebas que se hicieron en Norteamérica se desarrolló un diseño de referencia de un vehículo de pruebas de campo de DTV como una guía para que los radiodifusores realizaran las pruebas de cobertura y desempeño del sistema de manera oficial. La figura 4.1.2 ilustra la configuración típica.

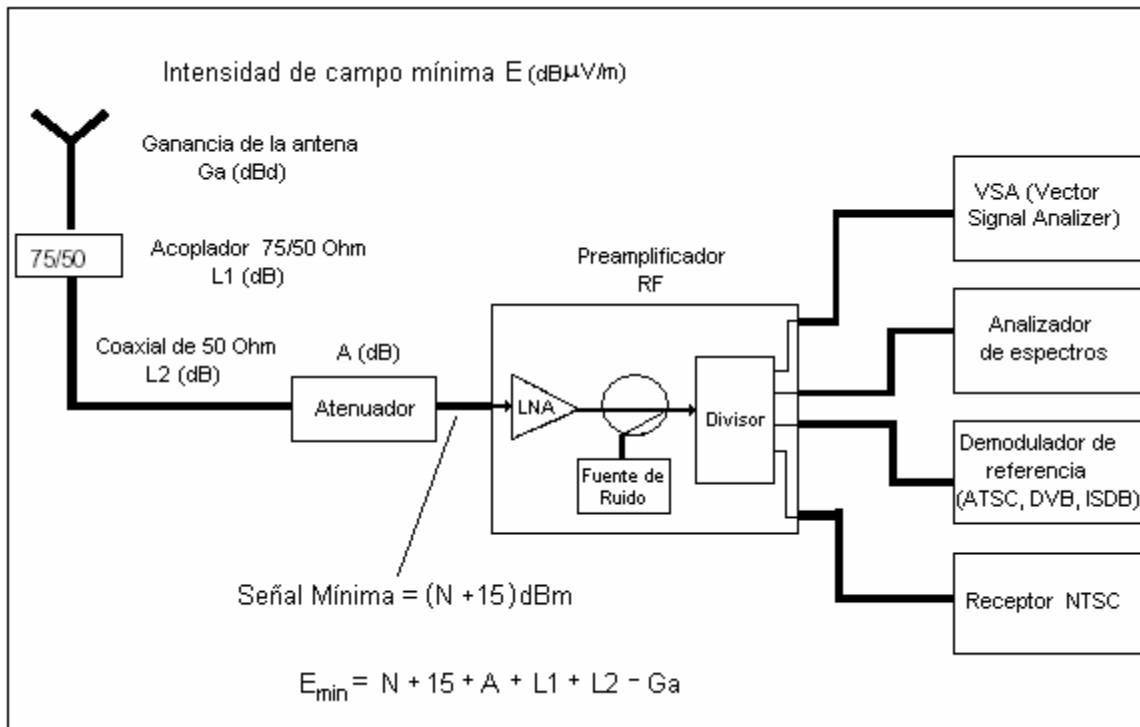


Figura 4.1.2. Diagrama de bloques del vehículo de pruebas de campo de DTV típico.

Primero se tiene una antena con una ganancia precisa conocida (dBd), la cual es colocada en un mástil desplegable que puede elevar la antena hasta los 9.1 metros de altura deseados sobre el nivel del suelo. Esta antena se conecta posteriormente a un cable coaxial que transporta la señal RF a un atenuador de precisión de entrada y después a un sistema pre-amplificador del camión consistente de amplificadores de bajo ruido, combinador de ruido y un divisor de salida. Antes se tiene un acoplador de impedancias entre la antena y el cable coaxial. El sistema pre-amplificador de banda ancha define la figura de ruido efectiva del camión, sin tener en cuenta el tipo de demodulador de referencia de DTV que se esté usando o de cuántos equipos de pruebas se conecten en la salida. Se puede utilizar también un filtro pasobanda opcional sintonizado en el canal de DTV de interés siempre y cuando la potencia de señal de DTV transmitida sea significativamente menor a su potencia asignada para prevenir distorsiones por intermodulación en el pre-amplificador debido a la presencia de fuertes señales de estaciones NTSC en las cercanías (también de otras señales de DTV). Esta situación puede suceder cuando un radiodifusor realice unas pruebas breves preliminares con muy baja potencia, más baja de la que está asignada.

El atenuador de entrada se usa para regular manualmente el nivel de la señal de entrada para que el pre-amplificador pueda siempre permanecer en el sistema aun en sitios donde la señal recibida sea muy alta. El valor del atenuador se documenta en cada lugar y se usa en los cálculos de las relaciones de señal a ruido e intensidades de campo. También se le añade ruido blanco a la señal en pasos de 1 dB para proporcionar una indicación de la degradación del umbral de ruido blanco de los 15 dB teóricos. El atenuador también determina la cantidad de margen que existe en cada lugar de prueba, esto es, qué tanto el nivel de la señal puede caer antes de que empiecen a ocurrir errores en los datos. La adición de ruido blanco gaussiano proporciona una medida más precisa y consistente del desempeño del sistema que con sólo atenuar la señal recibida. Antes de comenzar las pruebas de campo de un día se tiene que realizar la calibración del vehículo agregando ruido blanco en pasos de 0.1 dB a una señal VSB limpia debido a que el umbral de ruido blanco es un parámetro sensible para determinar la operación apropiada del demodulador.

Durante las pruebas de campo, ciertos parámetros recibidos de la señal se documentan en cada lugar de pruebas como la intensidad de campo promedio, interferencia de canales adyacentes, la relación S/N del ecualizador (antes y después de éste), la degradación del umbral de ruido blanco. Algunos de estos parámetros se miden, mientras que otros es necesario calcularlos. Para que toda la recopilación de datos sea un proceso consistente y preciso, todas las mediciones de potencia deben de hacerse con el mismo equipo de instrumentación. Esto incluye la potencia promedio de la señal DTV de banda ancha (en los 6 MHz), la potencia promedio de ruido blanco de banda ancha (también en los 6 MHz), y la potencia de banda estrecha del pico de la sincronización de la señal NTSC. El uso de los mismos equipos de prueba para medir los tres tipos de señales reduce el error, y la capacidad de medición de potencia del VSA proporciona medidas precisas de la potencia en los 6 MHz de ancho de banda aun en la presencia de señales de canales adyacentes. También se pueden lograr buenos gráficos del espectro de la señal.

El procedimiento de recolección de datos usado en las pruebas de campo de DTV se puede describir de la siguiente manera:

- Obtener las coordenadas geográficas (mediante un receptor GPS) y la orientación y distancia calculada hacia el transmisor.
- Registrar las condiciones del clima y el ambiente del sitio de pruebas local.
- Elevar la antena a 9.1 metros AGL.
- Orientar la antena para tener un máximo nivel de señal de DTV (dentro de  $\pm 25$  grados de la orientación al transmisor).
- Registrar la orientación de la dirección de la antena ajustada.

#### Capítulo 4. Implantación del estándar ATSC en México

- Ajustar el atenuador de la entrada del sistema de manera que se tenga una señal de DTV de -30 dBm aproximadamente (si es posible) y registrar el valor del atenuador.
- Medir y registrar la potencia de ruido promedio de la planta del camión (en 6 MHz) mediante el VSA.
- Medir y registrar la potencia promedio de la señal de DTV recibida en el VSA. (en 6MHz).
- Calcular y registrar la relación S/N recibida en dB y la intensidad de campo de la señal de DTV en  $dB\mu V / m$ .
- Dibujar y registrar el espectro de frecuencia de la señal DTV (1dB/división, 10 MHz de span).
- Medir y registrar la tasa de errores de segmento (SER) pico sobre un intervalo de 10 minutos.
- Capturar y guardar las ganancias de los canales del ecualizador (ecualizar taps) del demodulador.
- Registrar la relación S/N en la entrada y salida del ecualizador, así como la energía de canal.
- Agregar ruido blanco en pasos de 1 dB hasta que se alcance el umbral de errores (último valor en donde se tenga menos de 2.5 errores de segmento/segundo de pico).
- Medir y registrar el promedio de la potencia de ruido blanco agregado (en 6 MHz) en el VSA.
- Calcular y registrar la relación S/N en el umbral de errores de datos.
- Ya con el ruido blanco agregado, y por lo tanto ya que se determina el umbral de errores con este ruido, hay que volver a capturar y guardar las ganancias de las etapas del ecualizador del demodulador y registrar la relación S/N en la entrada y salida del ecualizador. También hay que medir y registrar nuevamente la potencia promedio de la señal de DTV.
- Calcular y registrar el margen del sitio en dB: S/N (recibida) - S/N (umbral) + medida del atenuador.
- Medir y registrar la potencia pico de la señal NTSC en el VSA si es que hay una señal NTSC disponible.
- Calcular y registrar la relación S/N recibida de NTSC en dB y la intensidad de campo de la banda estrecha del pico de sincronización en  $dB\mu V / m$ .
- Registrar breves comentarios acerca del lugar de pruebas así como de la recepción en DTV y NTSC.
- Replegar el mástil de la antena y dirigirse al siguiente sitio.
- Determinar subjetivamente y registrar la tasa de deterioro CCIR para la imagen NTSC (es decir la calidad de la señal, valores de 1 a 5 siendo el 1 un deterioro muy molesto y 5 un deterioro imperceptible).

Los procedimientos anteriores toman un aproximado de 15 a 20 minutos para un equipo experimentado y bien entrenado. Un punto a notar es que el umbral de ruido blanco se calcula basado en la condición del peor caso si la señal de DTV varía debido a condiciones de propagación de desvanecimientos durante la prueba de 10 minutos. Esta es la razón de que el nivel de la señal DTV se mida una segunda vez inmediatamente de que se determina el umbral de ruido blanco. Durante la parte de la prueba en que se agrega ruido blanco, si el nivel de la señal disminuye debido a condiciones de desvanecimientos causando datos erróneos, el ruido blanco debe ser reducido para que los errores de datos estén debajo de los 2.5 errores de segmento/segundo. Sin embargo, el valor de la señal de DTV registrado anteriormente puede ser mayor que el nivel que existió durante la determinación del umbral de ruido blanco. Por consiguiente se debe entender que la relación S/N en el umbral así como el margen calculado puede ser más grande que el que realmente ocurrió en el sitio de la prueba.

Se debe de notar que actualmente existen receptores de prueba para cada sistema de televisión digital que realizan varias de las mediciones anteriores de manera automática como la relación S/N, intensidad de la señal, tasa de errores, visualización del espectro, etcétera, por lo que se puede reducir el número de equipo con el que se diseñó el vehículo de pruebas de campo de DTV.

#### 4.1.3 Procedimientos de medición en interiores

Los procedimientos de medición de interiores están contruidos sobre los procedimientos de medición en exteriores en términos de los parámetros que necesitan ser registrados. De esta forma se puede realizar una comparación entre ambas recepciones. Sin embargo, dentro de una casa se deben de tomar en cuenta algunas consideraciones especiales. Existe un límite de qué tanto equipo es razonable llevar a la casa del participante voluntario y también de cuánto tiempo se puede gastar ahí. También, hay nuevos parámetros que se deben de considerar en las mediciones en interiores como el tipo de casa, sus materiales de construcción (torneado metálico en muros de yeso, vías de aluminio en las paredes exteriores), el tipo de aislamientos, número de ventanas y las direcciones en las que están colocadas, qué habitación se encuentra bajo prueba y en qué piso (altura sobre el nivel del suelo), etcétera. Es de acuerdo general que la recepción en interiores es típicamente esperada en no más de 26.6 a 56.3 km (25-35 millas) del transmisor, dependiendo de la ERP y el HAAT del transmisor. Los voluntarios para estos casos son elegidos por lo regular del personal de la estación de televisión y es deseable seleccionar casas de diferentes variedades en cuanto a su construcción, además de diferentes distancias y orientaciones respecto a la antena transmisora.

En este caso, la antena interior (la cual es calibrada para una ganancia contra una antena dipolo de referencia) está montada usualmente en un dispositivo de ajustes variables como un tripoide para que pueda ser fácilmente rotada e inclinada. Anteriormente, en los inicios de las pruebas de DTV en interiores no se contaba con el suficiente equipo profesional de pequeño tamaño para que se pudieran hacer las pruebas dentro de la casa. Esto forzó el uso de un amplificador para incrementar el nivel de la señal recibida y hacer que se pudiera transportar sobre cable coaxial del interior de la casa hacia el vehículo de pruebas. Una vez que la señal se encontraba en el vehículo de pruebas de campo, la señal se transportaba a través del mismo equipo usado para las pruebas en exteriores, incluyendo la adición de ruido gaussiano para determinar el umbral de errores. Actualmente se encuentran disponibles una gran variedad de dispositivos receptores profesionales portátiles que se hacen las pruebas en interiores de manera autónoma. Por lo regular se buscan que las mediciones dentro del hogar sean en el lugar donde existe un receptor NTSC con una antena interior. Si este sitio no se encuentra disponible se hace típicamente en alguna esquina de la sala o alguna habitación. Los procedimientos de las pruebas interiores son por otra parte igual que para las pruebas al aire libre.

#### 4.1.4 Metodología de análisis

Existe una gran variedad de parámetros que son críticos para la evaluación de las pruebas de campo de DTV: disponibilidad de servicio, desempeño del sistema, margen por encima del piso de ruido blanco, energía de canal (en el ecualizador), intensidad de campo y las estadísticas del perfil del terreno. En los párrafos anteriores se explicó la forma en que estos parámetros son comúnmente medidos, ahora se explicará, de forma breve, qué es lo que representa cada parámetro, ya que todos éstos proporcionan información valiosa sobre el sistema de televisión digital.

La disponibilidad de servicio es una indicación de primer orden ya que indica una recepción exitosa de televisión digital, aun cuando se tenga poca intensidad de campo, para su área de



cobertura y a una determinada potencia y altura sobre el nivel promedio del suelo de la antena transmisora durante las pruebas.

El indicador del desempeño del sistema, proporciona qué tan bien, el sistema de transmisión digital VSB o COFDM, se comporta con señales que están por encima de su intensidad de campo mínima para el vehículo de pruebas de DTV. Esto es, qué porcentaje de lugares está por encima de la relación S/N de 15 dB (umbral de errores de datos) tiene una recepción exitosa de DTV. Esto excluye de los análisis estadísticos a aquellos sitios que no tuvieron nunca la oportunidad de ser exitosos debido a la poca intensidad de campo y que ocasionaron que la señal estuviera por debajo del umbral de recepción (por ejemplo debido a severas obstrucciones del terreno o debido a patrones nulos de la antena). Además de que este proporciona un buen indicador de desempeño en la presencia de condiciones de deterioros que no son de ruido blanco, como pueden ser multitrayectorias, ruido impulsivo o interferencias de NTSC y DTV que pueden ocurrir durante las pruebas.

Las estadísticas del margen del lugar indican la cantidad de señal perdida (expresada en dB) que se puede experimentar en un determinado lugar antes de que se alcance el umbral de errores. En los análisis de campo de DTV es frecuente representar este valor como una media (mas una desviación estándar) de todos los lugares con recepción exitosa de DTV, excluyendo a aquellos sitios donde no hubo margen en absoluto (sin recepción de DTV exitosa). Este factor de confiabilidad estadístico puede ser dividido en partes conforme varía la distancia a partir de la antena, ya sea en radiales, arcos, enramados, etcétera. Entre más grande sea el margen es mejor, aquellos sitios que presentan un margen muy pequeño no son tan confiables, dado que se pueden presentar desvanecimientos de la señal debido a cambios diurnos o de estaciones anuales, provocando que se esté por debajo del umbral de errores.

La energía de canal del ecualizador es una cantidad escalar, expresada en dB, que indica qué tanta corrección se realiza en el ecualizador del receptor. El ecualizador de DTV es una línea de retraso de canales con diferentes ganancias en cada uno (variables), es comúnmente referido como filtro transversal. La energía de canal indica qué tanta distorsión lineal existe en la señal durante la propagación entre el transmisor y el receptor, es un buen indicador de las condiciones que provocan defectos en la señal debido a multitrayectorias o mala alineación del transmisor. La energía de canal se define como la relación logarítmica de la energía en todos los canales (excepto el canal principal) comparado con la energía del canal principal. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Energía\_de\_canal}[dB] = 10 * \log\left[\left(\sum c_i^2\right) / c_0^2\right]$$

Donde  $c_i$  es el valor de ganancia del canal  $i^{\text{th}}$  del ecualizador. En los análisis de las pruebas de campo de DTV, este valor se representa comúnmente como un valor medio al igual que el margen (junto con su desviación estándar) de aquellos sitios donde la recepción fue exitosa (excluyendo los sitios donde no se logró la recepción de DTV). También resulta útil realizar la comparación de estas energías de canal de diferentes partes de un área de cobertura o pruebas en diferentes ciudades, ya que es un buen indicador de la severidad de las multitrayectorias debido a las condiciones del terreno, edificios grandes, etcétera. Entre mas severo sea el terreno, aunado con una altura baja de la antena transmisora, existirá una mayor probabilidad de distorsión del canal y por lo tanto se requerirá de una energía de canal más grande en el ecualizador.

Las estadísticas de intensidad de campo indican el porcentaje de todos los lugares de prueba que están por encima de la intensidad de campo mínima requerida para una recepción exitosa de DTV, y está basada en los parámetros de recepción del vehículo de pruebas (ganancia de la antena, pérdida del cable coaxial de alimentación, sistema pre-amplicador, figura de ruido y relación señal a ruido en el umbral de errores de datos del sistema).

Las estadísticas del perfil de terreno representan el tipo de terreno que existe en un área de prueba determinada. Mientras que la recepción de DTV no está limitada únicamente a línea de

vista como ocurre con otros servicios como TV por microondas o satélite, sí se ve afectada por obstrucciones de terreno, particularmente a frecuencias más altas de UHF, entre más obstrucciones haya, la señal tendrá que hacer más curvaturas para bordear estos obstáculos y por lo tanto puede haber más multitraectorias o también más pérdida de intensidad en el punto de recepción. Conocer las estadísticas de las obstrucciones del terreno de todas las localidades donde se hacen pruebas proporciona una visión de la disponibilidad de servicio y desempeño del sistema que puede haber y ayuda a interpretar o entender los resultados de las pruebas.

Por otro lado también se tienen las tasas de errores de bits, en el caso específico de ATSC/8VSB se conocen tres tasas de errores de bits (BER) diferentes que conviene medir. Éstas resultan de los métodos de control de errores que se usan y los cuales son el bloque de codificación Reed-Solomon y la codificación convolucional. Las tasas de errores de bits son las siguientes:

- BER antes de Viterbi (antes del decodificador trellis)
- BER antes de Reed-Solomon
- BER después Reed-Solomon.

El más significativo de las tasas de errores de bits es el BER antes del decodificador convolucional dado que éste representa la tasa de errores de bits del canal. El BER antes de Viterbi se deriva del decodificador trellis mediante un circuito auxiliar consistente de un codificador trellis como en el transmisor y un comparador. El comparador checa cuando el flujo de datos codificado mediante trellis corresponde a la señal de datos recibida. Cualquier desviación en la salida se marca como errores de bits.

La tasa de errores de bits después de Viterbi o antes de Reed-Solomon se deriva directamente en el decodificador Reed-Solomon, es útil porque indica la tasa de errores que se pueden generar dentro del receptor. Finalmente la tasa de errores después de Reed-Solomon entonces indica los bits de errores no corregibles (esto es cuando hay más de 10 bytes en el bloque R-S de 208 bytes). De esta forma el BER después de Reed-Solomon se deriva igualmente en el decodificador Reed-Solomon. Estas tasas de errores de bits resultan útiles para la evaluación también de las condiciones del canal de transmisión así como de los equipos receptores. Las medidas de las tasas de errores de bits se realizan por medio de un receptor ATSC/8VSB de pruebas.

Como se muestra en la figura 4.1.3, en los receptores de prueba 8VSB se pueden obtener muchos parámetros de forma numérica, tal como es la amplitud de la señal, tasa de errores de bits, amplitud del piloto, velocidad de símbolo, desviaciones en fase, relación señal a ruido, etcétera, y muchos de los cuales, como ya se mencionó, se hacen necesarios para determinar el desempeño del sistema y las características del canal

ATSC/VSB MEASURE			
CENTER FREQ	CHANNEL	ATTEN : 30 dB	
300.000 MHz		1.2 dBm	
MODULATION:		8VSB	CONSTELL DIAGRAM...
FREQUENCY:			FREQUENCY DOMAIN...
SET CENTER FREQ	300.000 MHz		TIME DOMAIN...
SET PILOT FREQ	297.309 MHz		
PILOT FREQ OFFSET	-0.367 kHz		
SET SYMBOL RATE	10.762 MSymb/s		
SYMBOL RATE OFFSET	-3.6 ppm		
BER:			VSB PARA- METERS...
BER BEFORE VIT	0.0E-10 < 1K80/10K0 >		
BER BEFORE RS	0.0E-10 < 1K80/10K0 >		
BER AFTER RS	0.0E-9 < 1K48/10K0 >		RESET BER
TS BIT RATE	19.393 MBit/s		ADD. NOISE OFF

Figura 4.1.3. Datos numéricos obtenidos en un receptor ATSC/8VSB.

Mediante un analizador de espectros se pueden realizar mediciones en banda y aún más importante fuera de banda de la señal 8VSB. Realizando los ajustes necesarios de sintonización de frecuencia, ajuste de resolución y otras características del analizador de espectros se pueden medir varios parámetros. Los parámetros que son medidos comúnmente son:

- Atenuación.
- Respuesta en frecuencia.
- Amplitud de la portadora piloto.
- Armónicas.

También resulta interesante la medición que se puede realizar del grado de supresión o atenuación de la banda lateral inferior no deseada y la amplitud de distorsión en la banda de paso. En la figura 4.1.4 se puede observar un ejemplo del espectro de la señal digital con una supresión de banda lateral residual buena y otra pobre.

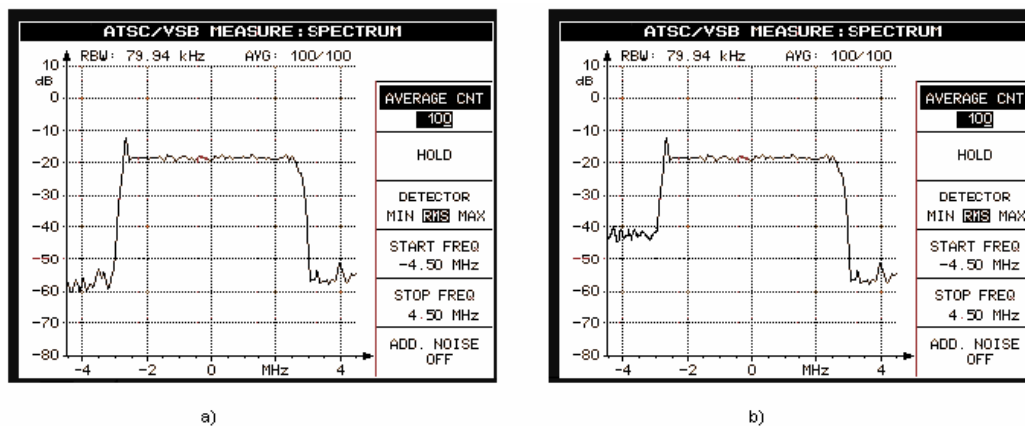


Figura 4.1.4. Espectro de una señal 8VSB, a) con supresión de banda lateral residual buena, b) con supresión de banda lateral residual pobre.

Otra parte importante para evaluar la señal de televisión digital es mediante el análisis de su diagrama de constelación. A diferencia de la modulación por amplitud de cuadratura en donde su diagrama esta compuesta de puntos, el diagrama de constelación de una señal 8VSB muestra líneas. Esto es debido al proceso de filtrado de Nyquist que cuando elimina parte de la banda lateral inferior deja una componente Q. Un receptor de prueba ATSC usualmente contiene un analizador de constelaciones, el cual muestra el diagrama 8VSB mediante 8 líneas verticales paralelas, que en el caso ideal deben ser extremadamente estrechas.

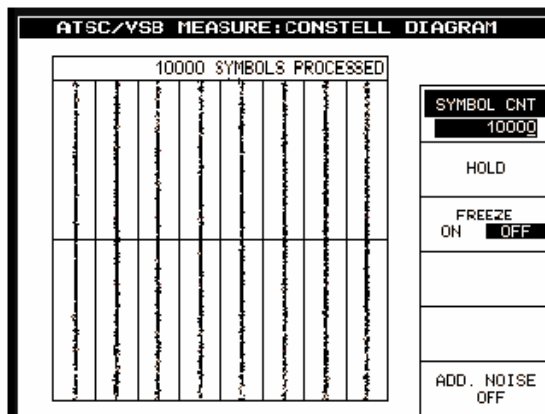


Figura 4.1.5 Diagrama de constelación de una señal ATSC en la presencia de un ruido ligero.

El diagrama de constelación de la figura 4.1.5 con líneas muy estrechas revela únicamente un deterioro ligero debido al ruido, como el originado en el modulador o transmisor ATSC. Como regla básica, se puede decir que entre más estrechas sean las líneas, es menos significativa la distorsión en la señal. Entre más anchas o amplias sean, el deterioro debido al ruido será mayor. En el análisis de la constelación se obtiene el valor *rms* del ruido y a partir de éste el receptor de prueba determina la relación señal a ruido en dB referenciado a la potencia de la señal, la cual también se calcula en el receptor.

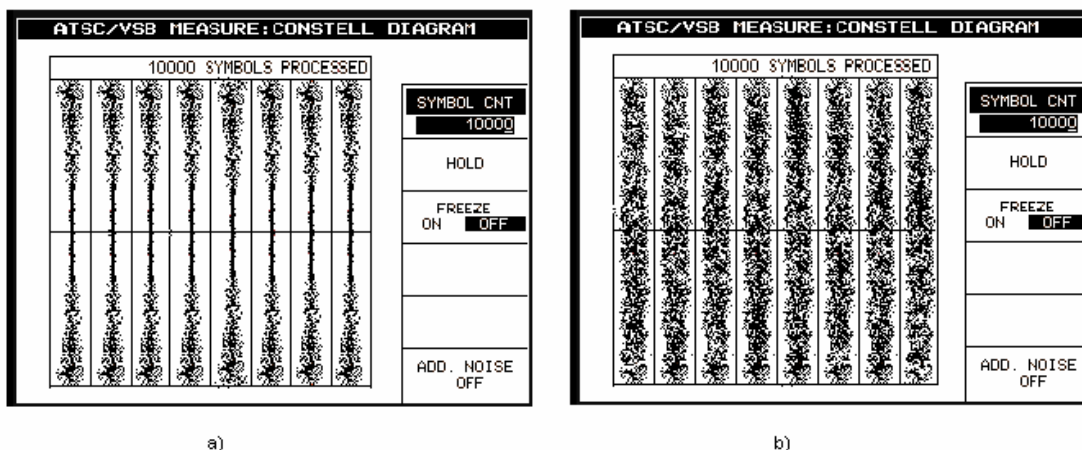


Figura 4.1.6 Diagrama de constelación 8VSB, a) con desviaciones de fase ruido, b) con deterioro debido al ruido.

En el caso de que haya desviaciones de fase (phase jitter), las líneas en los campos de decisión del diagrama de constelación se muestra con forma de trompeta, es decir que se hacen más anchos conforme se incrementa la distancia a partir de la línea central. En la figura 4.1.6 se observa el diagrama de constelación de la señal 8VSB para el caso de ruido y de desviaciones de fase. [4][11][12][14][29]

## 4.2 Pruebas de campo realizadas en México

El concepto de televisión digital empezó en México en 1996. El grupo encargado de reportar un diagnóstico para nuestro país tomó en cuenta aquellas evaluaciones tecnológicas significativas de diferentes países del mundo, incluyendo especialmente el caso de Brasil y Estados Unidos además de haber considerado algunos casos de Europa y Japón.

En 1997, el Gobierno de México otorgó a los dos radiodifusores más grandes, Televisa y TV Azteca, un canal experimental a cada uno para poder realizar transmisiones digitales de evaluación. De esta manera entre diciembre de 1997 y enero de 1998, se realizaron las primeras transmisiones de televisión digital en los canales 53 y 48 de la Ciudad de México, y se llevó a cabo la primera transmisión en el mundo de un partido de fútbol con producción totalmente realizada en Alta Definición. El 3 de marzo de 1999 comenzaron las transmisiones experimentales diarias

Para el proceso de adopción del estándar ATSC se consideraron varios aspectos que son fundamentales, independientemente de la cuestión tecnológica al hablar de Alta Definición (HDTV) o de definición estándar (SDTV).

Primero, se generó un grupo de trabajo que estuviera conformado por representantes de las diferentes esferas de la sociedad en México. Posteriormente, en 1999 se formó el Comité Consultivo en Tecnologías Digitales para la Radiodifusión, que se ha encargado de evaluar los cuatro principales aspectos para la televisión digital:

1. el aspecto técnico, el cual era necesario incluirlo debido a la variedad de estándares existentes;
2. el aspecto económico, ¿qué significa una decisión de este tamaño?, se habló entonces de inversiones, y para el caso de México superiores a los 4 mil millones de dólares, en la parte de radiodifusión, pero solamente abarcaba la parte de transmisión y con capacidad para producir solamente algunos programas. Al adoptar un estándar, aparte de considerar las inversiones en equipo para los radiodifusores, también había que considerar el mercado de los receptores y la incidencia en el mercado nacional.
3. el aspecto legal, es decir cómo ofrecer a los radiodifusores una certeza jurídica para animarse a realizar las inversiones que son necesarias para dar este salto de tecnología análoga a digital, y
4. el aspecto social, uno de los más importantes, ¿qué impacto tiene una decisión gubernamental de adoptar tal o cual estándar para el televidente?, ¿qué impacto tiene el que un radiodifusor pueda ofrecer servicios de televisión de Alta Definición cuando los monitores o receptores de tal servicio tienen altos precios? No se trataba de adoptar un estándar que obligara a la sociedad a realizar gastos innecesarios, cuando tal vez dentro de la escala de sus prioridades, una de las últimas sería precisamente la de comprar un aparato de televisión.

Otro de los retos era promover la actualización tecnológica y la convergencia de servicios en las redes de televisión, es decir, hacer que la televisión dejara de ser exclusivamente una caja de despliegue de programas, y convertirla en un medio de interacción con el televidente. Fortalecer la industria de la radiodifusión también era un reto; no hacer que las inversiones lleven a muchas empresas a la quiebra, sino por el contrario, permitir nuevos mecanismos legales y económicos, para que la introducción de la televisión digital represente oportunidades de nuevos negocios para el radiodifusor. Y por último, otro reto consistía en integrar al país al desarrollo de las oportunidades derivadas de esta nueva tecnología.

Se decidió que el Comité Consultivo en Tecnologías Digitales para la Radiodifusión fuera formado por tres representantes del Gobierno mexicano y tres representantes de la industria de la radio y televisión de México.

Se establecieron planes de evaluación y prueba de los diferentes estándares de televisión digital disponibles al día de hoy: el ATSC de Estados Unidos, el DVB de Europa y el ISDB de

Japón. Se tomaron en cuenta los aspectos mencionados anteriormente y se logró establecer una representación equitativa de las diferentes esferas de la sociedad en el Comité Consultivo.

En el mismo año de formación del Comité Consultivo se dio inicio a las evaluaciones de los estándares disponibles en ese momento con el ATSC y el DVB. Fue hasta el 2001 cuando se tuvo la posibilidad de contar con los tres sistemas operando de manera prácticamente simultánea bajo la misma cadena de transmisión. Primero se hacían transmisiones en ATSC, se tomaban muestras y evaluaciones, se cambiaba de equipo y con el mismo transmisor y el mismo sistema de radiación se hacían transmisiones en DVB, y minutos después en ISDB. Estas pruebas duraron aproximadamente un mes y los resultados se integraron en un reporte que se presentó al Comité Consultivo. Este reporte fue la base para que la importante decisión de adoptar un estándar de TV digital en México se tomara de manera definitiva.

En el 2002 se continuó con los ensayos, y en 2003 se comenzaron a realizar pruebas de transmisión de datos, agregados a la señal de televisión, para efectivamente lograr el concepto de convergencia digital en la radiodifusión.

Estas evaluaciones se realizaron principalmente desde el punto de vista técnico y se entregaron reportes a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del comportamiento de los equipos funcionando bajo los tres estándares. En algún momento estas memorias técnicas se presentaron también a la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) y algunos otros organismos de telecomunicaciones internacionales.

Luego de entregar los reportes técnicos, las reuniones de trabajo del Comité Consultivo incluyeron a analistas financieros, analistas económicos, sociólogos y diferentes representantes de la sociedad, para que todos los aspectos fueran considerados.

Por último, el Comité emitió una Recomendación al Secretario de Comunicaciones y Transportes en turno, Pedro Cerisola, quien dictó cuál sería el tipo de estándar a utilizar, y cuál sería la política para la introducción de los servicios digitales en México. Esta recomendación se entregó en marzo de 2004 y en julio del mismo año se adoptó oficialmente el estándar estadounidense ATSC para México, y se estableció al mismo tiempo la política de transición para lograr la penetración de los servicios de televisión digital en nuestro país.

Las transmisiones diarias empezaron en 1999, aunque en años anteriores a éste hubo algunas que fueron esporádicas. En todas ellas se incluyó material grabado y en vivo, y los horarios de transmisión fueron en todo momento de las 7 de la mañana a las 12 de la noche en la Ciudad de México.

También se introdujo un nuevo canal de televisión digital en Tijuana, Baja California, ciudad que limita al Norte con San Diego, Estados Unidos.

El propósito de contar con estos nuevos canales de televisión digital en la frontera con Estados Unidos o sobre todo en ciudades densamente pobladas como el caso del Distrito Federal fue para ofrecer demostraciones en los centros comerciales y universidades, además de realizar reuniones de índole técnico, mayoritariamente, y conferencias con gente relacionada a la industria de la radio y la televisión. [13][26][28]

#### **4.2.1 Planeación de las pruebas en México**

Las pruebas de transmisión y recepción de señales de TV digital, como se mencionó, se hicieron en los años 2001 y 2002. Los estándares evaluados fueron ATSC-T, DVB-T e ISDB-T, estos últimos usando prototipos para ambientes de 6 MHz.

El propósito de llevar a cabo estas pruebas técnicas era para redactar una memoria completa, con la cual analizar y revisar todas las características, ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de TV digital, para reportársela al Comité Consultivo y que esto funcionara como plataforma para que la industria de medios y el Gobierno en México pudieran evaluar las



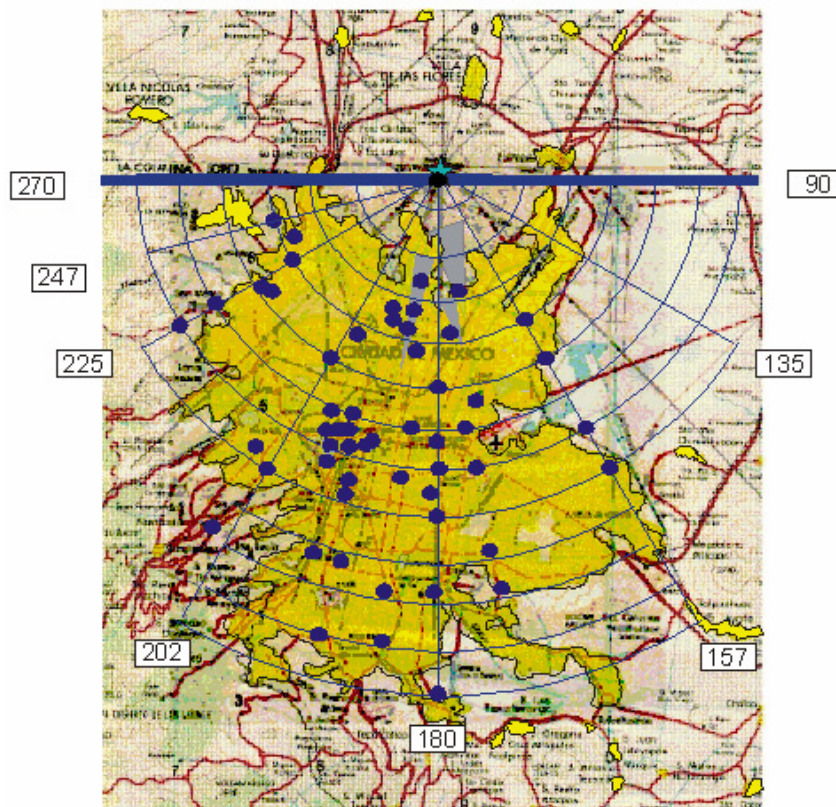
#### Capítulo 4. Implantación del estándar ATSC en México

tecnologías existentes y tener un punto de partida para la adopción de un estándar de televisión terrestre.

Existían una gran variedad de puntos a evaluar durante las pruebas, sin embargo lo principal era comparar el comportamiento de los estándares de TV digital terrestre en cuanto a la cobertura, eficiencia del uso de ancho de banda de 6 MHz y la intensidad de señal mínima requerida para una recepción satisfactoria. Todo esto se comparó simultáneamente con el sistema NTSC como base.

Otro de los objetivos era conocer los parámetros reales de operación del estándar DVB-T e ISDB-T en ambientes de 6 MHz (ya que fueron diseñados para 7 y 8 MHz principalmente), transmitiendo en formato SDTV y HDTV para recepción en móviles y en interiores.

La transmisión fue de tipo experimental, se utilizó en aquel momento, un transmisor colocado en el cerro de Tres Padres operando a 750 Watts de potencia promedio (3kW pico), con un patrón direccional enfocado o dirigido a las zonas de servicio de la Ciudad de México (figura 4.2.1). Se transmitió material grabado en Alta Definición, programas en vivo emitidos desde Chapultepec, el Estadio Azteca, San Ángel, etcétera.



a)

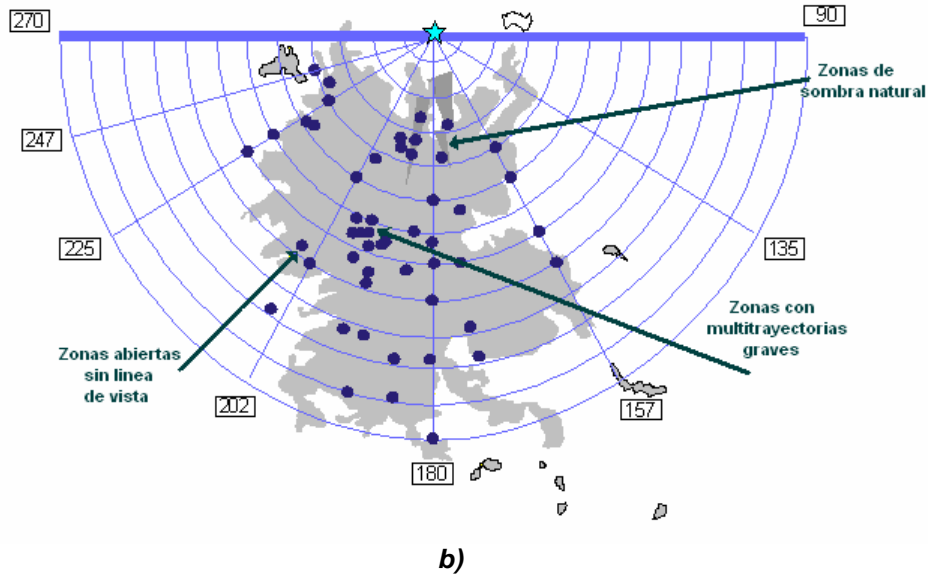


Figura 4.2.1. a) lugares para evaluación de los sistemas de TV digital en la ciudad de México, b) clasificación de zonas conflicto

Como se muestra en la figura 4.2.1, se tomaron muestras de la señal en 56 puntos de la Ciudad de México. Las zonas de medición se eligieron de tal manera que se estuviera en diferentes tipos de terreno y se presentaran distintas condiciones de recepción. De esta manera se eligieron sitios donde hay problemas de recepción de la señal NTSC como el Ángel de la Independencia, la plaza de la Cibeles y el área de Santa Fe, ya que se trata de regiones altamente pobladas y con problemas de multitrayectoria; también incluyó las zonas de sombra al Norte de la Ciudad de México, zonas con línea y sin línea de vista, el rumbo de Chapultepec y Santa Fe para la recepción en interiores y zonas aledañas al Periférico para la recepción en móviles.

El diseño de las mediciones, como se puede observar también en la figura 4.2.1, se hicieron en las formas de arco, radial y en enramados (cluster) mediante puntos individuales.

Los arcos se eligieron con ángulos de  $22^\circ$  y  $23^\circ$ , es decir que son ligeramente mayores a los de las recomendaciones de la FCC y ATSC de  $20^\circ$ , los puntos de medición de esta forma se hicieron solo en algunas partes de la Ciudad de México.

Los puntos de medición en forma radial se presentan principalmente en los acimut de  $225^\circ$  a  $157^\circ$  de la figura. Estos puntos aunque pocos, tomando en cuenta las recomendaciones, fueron los suficientes para caracterizar la recepción de los sistemas en función de la distancia a lo largo de la Ciudad de México.

Los puntos en forma de enramados o clusters, elegidos de manera independiente, se hicieron principalmente en la zona más poblada de la Ciudad de México, es decir, en la zona centro que es donde principalmente se presentan multitrayectorias graves.

La altura de la antena para todos los puntos de medición fue de 4 metros sobre el nivel del suelo. La configuración de los transmisores considerada para los diferentes estándares en el proceso de evaluación, es mostrada en la tabla 4.2.1.



## Capítulo 4. Implantación del estándar ATSC en México

Tabla 4.2.1. Características de transmisión de los estándares durante su evaluación en México

	ATSC	ISDB			DVB	
<b>Formato</b>	HD/SD	EDTV-1	EDTV-2	SDTV	EDTV	SDTV
<b>Bit Rate (Mbps)</b>	19.39	19.915	20.284	8.133	19.63	4.0
<b>Video (Mbps)</b>	18.1	16.71	17.26	4.53	16.71	2.606
<b>Ancho de Banda</b>	6	6	6	6	6	6
<b>Portadoras</b>	1	5617	5617	2809	8K	2k
<b>Modulación</b>	8VSB	64QAM	64QAM	16QA	64QA	QPSK
<b>FEC</b>	2/3	3/4	5/6	M	M	1/2
<b>I. Guardia</b>		1/32	1/8	1/2 1/8	2/3 1/32	1/4

Se puede notar en la tabla 4.2.1 que tanto el ISDB como el DVB permiten la modificación de sus parámetros, los cuales propician la diversificación de los distintos formatos y enfrentar situaciones de ruido extremas. La desventaja es que la tasa de bit disminuye considerablemente, así como la tasa de video que se requiere para el formato de imagen a recibir.

### 4.2.2 Resultados obtenidos

Las pruebas de evaluación duraron aproximadamente un mes. Los resultados de recepción en sólo algunas de las zonas de servicio de la Ciudad de México, considerando las distintas configuraciones, se muestran en la tabla 4.2.2.

Tabla 4.2.2. Resultados de recepción obtenidos durante la evaluación de los sistemas de televisión digital.

	NTSC Calidad	ATSC HDTV	ISDB			DVB		Comentarios
			EDTV-1	EDTV-2	SDTV	SDTV	EDTV	
<b>Sítios Problema</b>								
Plaza de la Cibeles	3	V	.....	V	V	V	.....	BER<10E-2 NTSC-ghost
Ángel de la Indep.	2	.....	★	★	V	V	★	
Edificio Arco Bosques	2	V	V	V	V	V	V	
<b>Zonas Sombra</b>								
San Juan Ixhuatepec	2	★	.....	.....	.....	.....	.....	46 dBu COFDM
<b>Sítios Abiertos</b>								
Balderas	5	V	V	V	V	V	V	
San Ángel	5	V	V	V	V	V	V	
Polanco	4	V	V	V	V	V	V	
Santa Fe	3	V	V	V	V	V	V	
<b>Interiores</b>								
Balderas	3	.....	.....	.....	V	V	.....	Sin L. Vista
Santa Fe	2	V	V	V	V	V	V	
<b>Móvil</b>								
Periférico (ref-sat)	Var	.....	.....	.....	V	V	.....	Cortes: DVB c/2min ISDB c/3min

**Nota:** V se refiere a recepción con una antena de conejo y ★ con una antena logarítmica

## Capítulo 4. Implantación del estándar ATSC en México

En resumen los resultados de las pruebas fueron los siguientes.

### ATSC:

- es posible SDTV multicanal y HDTV en 6 MHz, lo que implica un mejor uso del espectro,
- permite transmisión de datos,
- permite recepción en fijos con receptores actuales,
- fue difícil la recepción en interiores con Set Top Box actuales (se esperará la madurez del EVSB),
- se obtuvo un umbral de recepción de 41 dBu<sup>1</sup>,
- existen receptores comerciales para ambientes de 6 MHz

### DVB y ISDB:

- permite la recepción de un canal con formato SDTV en fijos, interiores y móviles, no permite la recepción de HDTV en 6 MHz, entrega de manera confiable EDTV,
- si se requiere video con una tasa mayor a los 18 Mbps, la recepción es poco confiable,
- es más robusto a multitrayectorias pero no es inmune
- se detectaron problemas críticos con ajuste de transmisor (intermodulaciones),
- los estándares transmiten datos,
- umbral de recepción a 45 dBu (lo que implica transmisores más potentes),
- en las fechas de las pruebas existían receptores prototipo a 6 MHz.

También se debe hacer notar que la mayoría de los resultados presentados fueron únicamente cualitativos y no fue posible obtener resultados cuantitativos.

Con base en los resultados se presentaron los comentarios mostrados en la tabla 4.2.3 a manera de conclusiones del proceso de pruebas de campo y evaluación en México.

Tabla 4.2.3. Conclusiones sobre la evaluación de los estándares de TV digital en México

	<b>ATSC</b>	<b>DVB</b>	<b>ISDB</b>
<b>Recepción</b>	Problemas en interiores y móviles con receptores actuales	En móviles e interiores	Mejor comportamiento en interiores (SDTV)
<b>Zonas conflicto (sombra)</b>	Mejor comportamiento	No recepción	No recepción
<b>Umbral de recepción</b>	Menor (41dBu)	Mayor (45dBu)	Mayor (45dBu)
<b>Tasa de bit</b>	Más eficiente	Menos eficiente, requiere más para HDTV real	Menos eficiente, requiere más para HDTV real
<b>Multitrayectorias</b>	Susceptible	Robusto	Robusto
<b>Transmisión de datos</b>	Soporta	Soporta	Soporta
<b>Disponibilidad de equipos</b>	Existen comerciales	Sólo prototipos para 6 MHz	Sólo prototipos para 6 MHz
<b>Estaciones operando</b>	Existen actualmente (con HDTV)	Existen sólo en redes de frecuencia única (SFN) y sólo con SDTV	No existen en 6 MHz

<sup>1</sup> El dBu expresa el nivel de señal en decibelios y referido a 0.775 voltios. Los 0.775 son la tensión que aplicada a una impedancia de 600 ohms, desarrolla una potencia de 1 mW. Se elige la impedancia de 600 ohms, porque es donde el nivel de la señal en dBm y en dBu coincide. dBm: Cuando el valor expresado en vatios es muy elevado, se usa el milivatio (mW). Así, a 1 mW le corresponden 0 dBm.

A partir de estos resultados y conclusiones, el Comité Consultivo en Tecnologías Digitales para la Radiodifusión determinó los aspectos técnicos esenciales para la elección de uno de los estándares. [13][22][26]

### 4.3. Aspectos básicos para la elección del estándar ATSC

Como se ha mencionado, la elección del estándar ATSC no fue una decisión tomada a la ligera, sino que se realizó con base en el análisis de cuatro aspectos considerados por el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión. En los siguientes puntos se hará una breve discusión de estos aspectos.

#### 4.3.1. Aspectos técnicos

Cuando el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión en México enfrentó al inicio de la década el reto de evaluar los tres estándares de televisión digital existentes en el mundo se propuso en principio responder tres preguntas:

- ¿Cuál era la intensidad de señal mínima transmitida que pudiera recibir confiablemente y procesar un receptor fijo digital?
- ¿Qué tan eficientemente se hacía uso del ancho de banda asignado al canal de 6 MHz?, y
- ¿Qué tan robusta era la señal para recepción en móviles o recepciones en ambientes sujetos a multitrayectorias, es decir rebotes o fantasmas analógicos?

En relación a la primera interrogante, los resultados de las pruebas arrojaron que para poder recibir de manera confiable el servicio, con el estándar ATSC se necesitaron 4 dB menos de intensidad de señal que lo obtenido cuando se hicieron pruebas con el DVB europeo y el ISDB japonés.

Fue así que por medio de estos registros se comprobó que al transmitir con modulación COFDM se necesitaban 4 decibeles adicionales a los requeridos por ATSC para que el receptor pudiera recuperar la señal digital.

En las pruebas, el mínimo nivel de ATSC para recibir de manera confiable la señal digital fueron 41 dBu, y para el caso del DVB fueron necesarios 45 dBu.

Esta disparidad de 4 decibeles significa en términos reales que el radiodifusor empleará la mitad de potencia para transmitir una señal en sistema ATSC que en DVB o ISDB, y al requerir menor potencia de transmisión, implicaba que los canales analógicos fueran menos propensos a la interferencia de las señales digitales.

De acuerdo con un reporte publicado de comparación entre estándares<sup>2</sup>, en pruebas de laboratorio se mostró que la interferencia en la parte baja del espectro de la señal de televisión digital afectando una señal NTSC era de -2.30 dB para DVB-T y -8.0 dB para ATSC. Concluyendo que ATSC afecta menos a la señal NTSC en esa parte del espectro. Por otro lado en la parte superior, los valores mostrados fueron muy similares, -6.90 dB para ATSC y -6.55 dB para DVB-T. La razón por la cual esto sucede es debido a las diferencias de modulación, ya que DVB al usar miles de portadoras éstas deben de tener determinadas características de intensidad de señal para que el decodificador pueda detectarlas para su posterior procesamiento en el receptor.

Para responder a la segunda pregunta en cuanto a la eficiencia del espectro, de las pruebas hechas en México y otros países, se encontró que ATSC permitía transmitir señales en formato de Alta Definición y ser recibidas en condiciones fijas con excelente calidad porque era

---

<sup>2</sup> VSB/COFDM Project. 8vsb/cofdm comparision report. Technical report, VSB/COFDM Project, December 2000.

posible asignar tasas de transmisión de 18 Mbps o más al video exclusivamente, como lo resume la tabla 4.2.1.

En cambio DVB e ISDB, por el tipo de codificación de canal que emplean, no permitieron asignar -en esos mismos 6 MHz- tasas de transmisión mayores a 17.5 Mbps para transmitir Alta Definición.

Esto se debe a que el DVB terrestre tiene que especificar un intervalo de guardia (por cada símbolo) para contrarrestar los efectos de las trayectorias múltiples de una señal, lo que provoca que la cantidad de datos útiles que viajan por el canal sea mucho menor que los que viajan por ATSC.

Recordemos que originalmente el DVB se diseñó para ambientes de 7 y 8 MHz, pero para funcionar en un ancho de banda de 6 MHz debe usar 64-QAM con una tasa de codificación  $R = 2/3$  (en 3 bytes enviados, 1 es de control de errores), que es por lo que sólo puede alcanzar una tasa de datos máxima teórica de 18.1 Mbit/s, mientras que ATSC mantiene su tasa fija a 19.39 Mbit/s. De esta forma es que ATSC es más eficiente espectralmente en ambientes de 6 MHz, porque viajan más datos que en el DVB.

Para contestar la última interrogación es necesario recordar que desde su origen, tanto el estándar DVB como el ISDB terrestres, fueron diseñados para favorecer la recepción de programación televisiva en receptores móviles (cualquier dispositivo receptor que se encuentre dentro de un vehículo en movimiento), no así el ATSC, al menos en los años en que el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión ponderaba qué estándar elegir para México. Sin embargo y a pesar de su versatilidad en móviles, tanto el estándar europeo como el japonés no eran capaces de transmitir en Alta Definición.

Según registros del Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI)<sup>1</sup>, en el año 2000 el 85.6 por ciento de las viviendas en el País contaban con al menos un televisor. El mismo instituto reporta que en ese año existían casi 22 millones de hogares cuyo promedio de integrantes era de 4.4 individuos, es decir que la televisión podría ser vista por poco más de 80 millones de habitantes desde su casa.

Esto, para los representantes de las cadenas televisoras que estudiaban el estándar más idóneo para México, significaba que su principal negocio no estaba en la recepción en móviles sino en los televisores que había en las casas. Para ellos, no valía la pena sacrificar calidad de imagen al asignar tres cuartas partes de la tasa de bits en corrección de error para ser bien recibido en móviles con una calidad estándar, si optaban por escoger DVB o ISDB.

Por el contrario, se eligió el estándar ATSC porque su principal objetivo siempre ha sido la Alta Definición, ya que con los 19.39 Mbit/s que se pueden enviar en el flujo de este estándar, es factible transmitir programación en Alta Definición según los perfiles y niveles establecidos por el grupo MPEG e incluso es posible transportar datos o servicios adicionales, lo que más adelante desembocaría en lo que conocemos por televisión interactiva.

En relación al audio, el DVB-T empleaba el método denominado Capa II del MPEG (MPEG-1,2 Layer II). Las diferencias entre este método de codificación y el AC-3 de ATSC radican principalmente en el manejo de los modos multicanal. El MPEG-2 Capa II añadió la característica multicanal a partir de que surgió el AC-3. Esto lo puso en cierta desventaja dado que no consideraba esa característica desde su diseño, en cambio el AC-3, sí. La desventaja es que se requerían aproximadamente 640 Kbit/s para codificar en ese modo usando MPEG-2 Capa II, mientras que en el AC-3 se hacía en un intervalo de 384 a 448 Kbit/s.

Como en muchos países, la información obtenida en el periodo de pruebas no fue publicada y sólo se conoce entre las organizaciones involucradas en los procesos de evaluación de los estándares, razón por la cual no fue posible en esta investigación obtener todos los resultados de estos procesos. [13][22][26]

---

<sup>1</sup> <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=tin000&c=6672>  
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=tin129&c=4858>

### 4.3.2. Aspectos económicos

Como ocurre con la mayoría de los servicios de comunicaciones, al principio de su establecimiento o puesta en el mercado el usuario pionero siempre paga caro el empleo de dicho servicio y la televisión digital no iba a ser la excepción.

Para la elección del estándar de televisión digital ATSC se determinó la viabilidad económica del consumidor mexicano para adquirir un receptor con ciertas características que le permitiera ver televisión digital en el corto plazo de su introducción. El Comité Consultivo observó que la economía de escala de los tres estándares era totalmente diferente. En el caso del ATSC, desarrollado en Estados Unidos, sus creadores han pensado que para finales de 2006 se estén vendiendo cerca 10 millones de receptores de televisión de Alta Definición tan sólo en su mercado. La consecuencia inmediata de lo anterior resulta evidente: la caída de precios de los receptores. Esto también fue un factor que determinó su elección.

Por ejemplo, mientras en 2002 una pantalla de plasma importada de Corea de 42 pulgadas costaba en promedio 180 mil pesos, a mediados de 2005 el comprador tenía que desembolsar poco más de 40 mil pesos, y ya en promoción a finales de ese mismo año pagaba por ella alrededor de 28 mil pesos.

Pero incluso ya no hay necesidad de importarlas puesto que México desarrolló una industria maquiladora de televisiones que para 2005, según cifras del Consejo Nacional de la Industria Maquiladora de Exportación<sup>1</sup>, había propiciado el nacimiento de 18 fábricas de televisiones que desde principios de 2006 ya están en la transición de aparatos análogos a digitales, pues a partir del 2007 serán los únicos receptores que se venderán en Estados Unidos, su principal mercado.

Según estadísticas de Comercio Exterior, las exportaciones de televisiones que realizaron las maquilas durante 2005 sumaron 10 mil 220 millones de dólares, cifra 44 por ciento superior a la del año previo. Además, las ventas foráneas de televisiones por parte de las maquilas son uno de los rubros más exitosos de los últimos años, tan sólo en 2005 las ventas casi duplicaron las registradas en el año 2000.

En México se tiene la cultura de tener la televisión mucho tiempo, pero los habitantes de Estados Unidos y Japón cada dos años lo renuevan. Este último hecho ha propiciado que los receptores de DTV bajen de precio, por lo que aunado a los planes de la Asociación de Electrónica de Consumo de Estados Unidos (CEA, por sus siglas en inglés), propiciará que quizá a principios de 2007 para el consumidor mexicano no sea el precio el factor primordial de compra sino el tamaño, diseño o color del televisor.

Eso no se presentaba en el caso del DBV ni del ISDB, porque su mercado era mucho más reducido. De hecho un ejemplo internacional de quiebra de una televisora con transmisiones de Alta Definición lo constituyó el proyecto español Quiero TV que nunca tuvo la audiencia suficiente que evitara conducirlo al fracaso financiero. ISDB acaba de empezar y seguramente tendrá éxito porque será el sistema que sustituya al de Alta Definición analógica que tienen en Japón y que transmiten al día de hoy por satélite. [13][26]

### 4.3.3. Aspectos legales

Los integrantes del Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión consideraron tres aspectos fundamentales. Primero, que también fuera posible transmitir datos dentro del mismo concepto de televisión abierta, y no sólo audio y video como tradicionalmente se hacía, es decir enviar datos adicionales: Datacasting y Televisión Interactiva.

Segundo, plantearon que si el radiodifusor tenía interés por explotar servicios de telecomunicaciones, por ejemplo al vender el servicio de Datacasting, que éstos se rigieran por la Ley Federal de Telecomunicaciones y no por la Ley Federal de Radio y Televisión, ya que esta última es para televisión abierta y la de Telecomunicaciones establece las directrices que le permitirían cobrar por dichos servicios.

<sup>1</sup> [www.reforma.com/edicionimpresa/notas/060301/negocios/704472.htm](http://www.reforma.com/edicionimpresa/notas/060301/negocios/704472.htm)

Por último, durante la etapa de evaluación se consideró el aspecto de seguridad jurídica para los radiodifusores, de tal manera que si el radiodifusor confirmaba su interés por empezar a transmitir televisión digital se refrendaran sus concesiones automáticamente por 18 años, a partir del 2003 y hasta el 2021. Esto daba la certeza jurídica para ingresar al negocio de DTV, ya que se ampliaba el periodo de la concesión, es decir del aval del Gobierno mexicano para hacer uso de la banda asignada al radiodifusor y que tuviera así un margen de tiempo suficiente para recuperar su inversión en la ampliación y adaptación de sus instalaciones.

Lo anterior quedó plasmado en el acuerdo que establece la Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre en México<sup>1</sup> y que se comenta en el capítulo 5. [13][26]

#### 4.3.4. Aspectos sociales

Durante la evaluación del sistema de televisión digital a elegir se pensó en que el estándar que se iba a utilizar tuviera la mayor proyección en cuanto a eficiencia, tipo de servicios, costo de los servicios y precio de los receptores, sin obligar a la gente a que por una decisión técnica tuviera que desechar sus televisores analógicos para comprar otros muy costosos. Todo tenía que ser compatible con lo existente, sin necesidad de comprar antenas diferentes si se quería ver televisión de Alta Definición.

Como era de esperarse, a fines del 2005 la organización ATSC publicó un mandato donde señalaba que en el 2007 todas las televisiones que se fabricaran en Estados Unidos debían tener sintonizador ATSC. Entonces se esperaba que para el 2010, en México, el usuario no sólo tuviera la posibilidad de ver Alta Definición en su receptor sino que de manera normal y automática, recibiera tanto su programación en sistema analógico como en Alta Definición digital.

Otro punto de consideración para la sociedad y el ámbito cultural fue que en el Comité Consultivo participaron representantes de las televisoras permisionadas, Canal 22 y Canal 11, por ejemplo, que intervinieron con su opinión en los últimos trabajos para que todos los radiodifusores estuvieran de acuerdo en qué se iba a hacer. Se pensó entonces en que las estaciones comerciales iniciaran operaciones con tres años de adelanto a las permisionadas.

Al ser muy caro empezar a transmitir televisión digital, sobre todo si la gente no iba a ver la señal que se emitía, se propuso que las televisoras comerciales abrieran brecha en DTV, de alguna manera, porque éstas sí generan negocio con la transmisión y un permisionario no.

Puesto que el permisionario opera gracias a una asignación de presupuesto federal, que además se le otorga una vez al año, se descartó la posibilidad de obligarlos a salir al mismo tiempo, ya que significaría tener que incrementarles su presupuesto al doble, sin que nadie viera su señal, algo ilógico e inútil porque mermaría sus recursos y consecuentemente la de otros programas asistenciales del país como el rubro de la educación por ejemplo.

Otro aspecto muy importante considerado por el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales en el documento de la Política de introducción de la televisión digital terrestre en México, especifica que si existe algún problema económico en el País, por ejemplo una devaluación, el Plan que en ese mismo documento se define de 18 años se puede ir moviendo. De tal manera que si por ejemplo se tiene el compromiso que para diciembre de 2006 se tengan nueve ciudades cubiertas con señal digital, se va a estudiar el nivel de penetración del servicio de televisión digital abierta entre la población, es decir qué tantos receptores haya comprado la población para decidir si se desfasa el año de inicio de transmisiones.

La siguiente fecha “fatal” es 2009, y si no ha habido suficientes ventas de televisores que capten la señal digital, probablemente el plazo se retrase un año más, es decir hasta el 2010. Esto también da certidumbre jurídica y la certeza de que no se obligará a la gente a comprar televisiones ni tampoco obligará a los permisionarios a iniciar transmisiones “aventando bits a los árboles”. [13][26]

---

<sup>1</sup> [http://www.segob.gob.mx/dof/2004/julio/dof\\_02-07-2004.pdf](http://www.segob.gob.mx/dof/2004/julio/dof_02-07-2004.pdf)

## Capítulo 5. Reglamentación de la Televisión Digital en México

---

### 5.1 Situación actual de la televisión digital en México

Como se ha mencionado, México fue uno de los primeros países que realizó pruebas para la elección de uno de los tres estándares de televisión digital que actualmente existen, y también fue de las primeras naciones en Latinoamérica en adoptarlo.

Con base en los resultados obtenidos de esas pruebas y del análisis por parte de los miembros del Comité Consultivo de las Tecnologías Digitales para la Radiodifusión, se eligió implantar el estándar estadounidense ATSC.

Al mismo tiempo, cuando se publicó oficialmente la adopción del estándar ATSC en el Diario Oficial de la Federación, el 2 Julio del 2004, se estableció la Política de Transición a la Televisión Digital Terrestre para aquellos radiodifusores que desearan realizar el cambio de sus transmisiones analógicas a digitales. Actualmente este proceso de transición se encuentra en estado inicial y las transmisiones comerciales de televisión digital comenzaron prácticamente a inicios de este año, 2006. En un principio se realizaron transmisiones experimentales de señal de DTV en los canales 48 y 53, en la Ciudad de México, cuyo contenido correspondía al canal 2 de Televisa y el canal 7 de TV Azteca, respectivamente.

Por su parte TV-UNAM realizó en el canal 60 sus transmisiones experimentales de televisión digital, únicamente cubriendo el área de Ciudad Universitaria. Este canal no va a ser definitivo debido a que se va a liberar el espectro de los canales 52 a 69 para otros servicios.

Hoy día existe una mayor variedad de canales que ya tienen sus réplicas digitales aparte de los canales citados anteriormente y que transmiten en Alta Definición, todos los canales digitales sintonizables hasta el momento se listan en la tabla 5.1.

En el caso de TV Azteca, se le han asignado los canales 24 y 25 para que transmitan de manera digital el contenido de los canales analógicos 7 y 13 respectivamente.

Por el momento estos canales tienen poca audiencia debido a que la baja potencia con que es transmitida la señal sólo abarca el centro de las poblaciones donde se origina y a que es escasa la penetración de los receptores de ATSC entre la población.

De acuerdo con información publicada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se espera que para el 2012 la penetración de la televisión digital en el País llegue al menos a un millón de hogares, si se da la esperada baja en los precios de los equipos.

En cuanto a la interactividad, ésta no está habilitada todavía pero se espera tenerla lista para todos los canales conforme se generalice el uso de los receptores de Televisión Digital Terrestre. Inicialmente será a manera de una guía electrónica con menús, biografías de actores, clima, horóscopos, etcétera.

La tendencia esperada a la baja en los costos de los equipos digitales puede fundamentarse en el hecho de que las fábricas instaladas en el País han migrado aceleradamente al ensamble de aparatos digitales. Este cambio de las líneas de producción para televisores digitales favorecerá la entrada de esa tecnología en nuestro País, incidiendo en el mercado nacional, donde el 93% de los hogares cuentan con equipos receptores de televisión.

## Capítulo 5. Reglamentación de la Televisión Digital en México

Tabla 5.1. Canales de televisión digital de Televisa, asignados por la SCT y en operación (actualizados al 28 de Abril de 2006).

<b>Canal analógico</b>	<b>Canal digital</b>	<b>Inicio de operaciones</b>
<b>Ciudad de México</b>		
2 (cadena 2)	48	03/12/2005
4 (cadena 4)	49	03/12/2005
5 (cadena 5)	50	03/12/2005
<b>Guadalajara</b>		
2 (cadena 2)	24	23/02/2006
9 (cadena 5)	29	23/02/2006
4 (canal local)	26	23/02/2006
<b>Monterrey</b>		
10 (cadena 2)	23	23/03/2006
6 (cadena 5)	31	23/03/2006
34 (canal local)	48	23/03/2006
<b>Tijuana</b>		
57 (cadena 2)	20	30/01/2006
6 (canal local)	23	30/01/2006
<b>Mexicali</b>		
14 (cadena 2)	34	15/03/2006
<b>Ciudad Juárez</b>		
2 (cadena 5)	29	7/03/2006
<b>Matamoros/Reynosa</b>		
7 (canal local)	30	22/02/2006
9 (cadena 2)	19	22/02/2006
<b>Nuevo Laredo</b>		
11 (cadena 2)	25	28/02/2006

Por otro lado teniendo en cuenta que con la introducción de la televisión digital se acerca la convergencia tecnológica, se propuso reformar algunos artículos de la Ley de Radio y Televisión y de la Ley Federal de Telecomunicaciones. Dichas reformas fueron aprobadas por la Cámara de Diputados el 1 de diciembre de 2005 y posteriormente fueron ratificadas por el Senado el 30 de Marzo de 2006. Finalmente las modificaciones a la legislación fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Abril de 2006, por lo que entraron en vigor al día siguiente de su publicación.

### 5.2. Decretos, iniciativas de proyecto de ley y normas de operación de estaciones de Televisión Digital Terrestre

Los antecedentes de la implantación de la televisión digital en México son:

- a. El 22 de julio de 1998 fue suscrito un “Memorándum de Entendimiento” entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), y la Federal Communications Commission de Estados Unidos (FCC), en el que ambos países se adjudicaron canales de televisión digital para cada una de sus partes, dentro de una zona de coordinación a lo largo de su frontera.
- b. El 30 de julio de 1999 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el “Acuerdo para el Estudio, Evaluación y Desarrollo de las Tecnologías Digitales en Materia de Radiodifusión”, por medio del cual se creó el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión (CCTDR), que realizaría los trabajos para el estudio de estándares de radiodifusión digital que se encontraban disponibles en el mundo, A/53 de ATSC, DVB-T e ISDB.
- c. El 27 de marzo de 2000 se publica un acuerdo secretarial en el Diario Oficial de la Federación por el que se reserva el uso de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para realizar trabajos de investigación y desarrollo sobre las tecnologías de radiodifusión digital



que más adelante serían implantadas en México; el 3 de octubre de ese año, es publicado un acuerdo por el cual se obliga a concesionarios y permisionarios de radio y televisión a implantar dichas tecnologías, resueltas por la SCT, dentro de los plazos, términos y condiciones que ésta estableció para garantizar la eficiencia técnica de las transmisiones. De igual forma, en el acuerdo la SCT marcó como necesaria la transmisión simultánea de la señal analógica y digital de televisión y los plazos en los cuales se daría.

Después de una serie de reuniones de trabajo y en virtud del acuerdo publicado en el Diario Oficial el 2 de julio de 2004, se adoptó el estándar A/53 de ATSC, para la transmisión digital terrestre de radiodifusión de televisión, que utilizarán los concesionarios y permisionarios, para iniciar la transición a la televisión digital terrestre (TDT) y al mismo tiempo se estableció la "Política de Transición a la Televisión Digital Terrestre". [1]

Este acuerdo entró en vigor al día siguiente de su publicación, siendo los objetivos de ese documento los siguientes:

- Generar condiciones para la introducción de equipos de televisión digital y lograr su inclusión en nuestro País.
- Lograr una mayor calidad de imagen y sonido en televisión ofreciendo principalmente servicios de televisión de Alta Definición.
- Fortalecer la actividad de la radiodifusión.
- Alentar la incorporación de nuevos servicios digitales, (transmisión de datos en la banda de los 6 MHz, y
- Optimizar el uso del espectro radioeléctrico, incluyendo la convivencia de señales analógicas y digitales durante el periodo de transición.

El texto de la ley expone que la reforma vincula la radiodifusión al marco jurídico de las telecomunicaciones, al tiempo que mantiene una regulación específica para estas redes y servicios, debido a su carácter de medios masivos de comunicación, hasta que no sea consolidada la transición hacia la televisión y radio digital, estableciendo como autoridad responsable de todas las atribuciones sustantivas de la SCT, en materia de radiodifusión y de telecomunicaciones, a la Cofetel, atendiendo también las recomendaciones internacionales - emitidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en 2003, en Ginebra- que promueven un solo regulador común para todas las redes y servicios de comunicaciones.

También establece requisitos, criterios y procedimientos objetivos para el otorgamiento de permisos en materia de radiodifusión, y en el caso de estaciones oficiales se precisan los requisitos adicionales, a fin de consolidar a los medios públicos.

### **5.2.1. Norma Oficial Mexicana para la instalación y operación de estaciones TDT**

Aunque no existe aún una Norma Oficial Mexicana que vea por las especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión de televisión digital terrestre, en las bandas VHF y UHF, de acuerdo con la opinión del ingeniero Leonardo Ramos, miembro fundador del CCTDR, se espera que en breve inicien los trabajos para incluir estos servicios en los estatutos mexicanos y nutran de recomendaciones y normas el reglamento que exista en la materia. [3] [13]

Al día de hoy, la señal es monitoreada solamente por los operadores que la SCT ha aprobado para iniciar transmisiones de televisión digital. Sin embargo la Secretaría puede realizar inspecciones a las estaciones ya autorizadas para evaluar el sistema de TV Digital y comprobar que se cumplen con los parámetros de operación.

El monitoreo de sus señales digitales los realiza Televisa con equipos de prueba y medición, de acuerdo a los protocolos diseñados para dicho propósito. Por medio de éstos se evalúan y miden parámetros tales como:

- Relación señal a ruido (S/N).
- Relación Portadora a ruido (C/N).
- Ancho de banda (BW).
- Amplitud de portadora.
- Intensidad de señal en campo.
- Potencia de transmisor.
- Características de la señal digital incluyendo tasa de transmisión, modulación, corrección de error, etcétera, y
- Parámetros de operación de la señal digital operando en el estándar ATSC.

### 5.3. Política de transición de TV analógica a TV digital

La Política de Transición a la Televisión Digital Terrestre es un documento oficial que contiene las metas, requisitos, condiciones y obligaciones para los concesionarios y permisionarios de televisión, en relación con el proceso de transición tecnológica de la Televisión Digital Terrestre, en el que también se brinda certidumbre jurídica a todas las partes que intervengan en dicho proceso y las compromete a que el servicio televisivo opere en función de las necesidades de la sociedad.



Figura 5.3.1. Fragmento del Diario Oficial de la Federación que contiene el Acuerdo para adoptar el A/53 de ATSC y la Política de Transición a la TDT.

Si bien “la política” contempla que las señales de televisión puedan ser captadas por receptores fijos, establece que la SCT analizará la viabilidad de incorporar a la televisión digital terrestre servicios de televisión portátil y móviles. También promueve la prestación de servicios de telecomunicaciones por parte de los concesionarios o permisionarios de las estaciones de televisión conforme a la Ley Federal de Telecomunicaciones sin que implique la interrupción parcial o total de la TDT. Por la concesión de estos servicios a un particular o entidad pública, el Gobierno federal podrá establecer una contraprestación económica y, en tal caso, el concesionario o permisionario estará obligado a cubrir la misma a favor del erario público federal en términos de las disposiciones legales vigentes para tal efecto.

Este documento se compone de ocho subtítulos listados a continuación:

1. Objetivos.
2. Modelo de la TDT.
3. Canales adicionales para la transición a la TDT.
4. Periodos trianuales del proceso de transición.
5. Seguimiento, revisión y ajustes al proceso.
6. Adecuaciones necesarias a las Concesiones y Permisos.
7. Incumplimientos a la política, y
8. Receptores de televisión digital.

De los cuales en seguida ofrecemos un resumen de lo más relevante.

### **5.3.1. Canales adicionales para la transición a la televisión digital**

Es necesario que los concesionarios y permisionarios cuenten con la asignación temporal de un canal adicional para realizar transmisiones digitales simultáneas de la programación transmitida por cada canal analógico, en las bandas de frecuencias que le corresponden a la televisión, conforme al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, así como para impulsar la convergencia tecnológica. Con tal motivo la SCT ha publicado en su sitio internet la Tabla de Canales Adicionales para la Transición en la que se identifican los canales que se encuentran disponibles para tal efecto, procurando que la mayoría de éstos se concentren en la porción de las bandas ubicada del canal 2 al 52.

### **5.3.2. Periodos de la transición**

Para llevar a cabo el proceso de transición a la Televisión Digital Terrestre se estableció un calendario para la instalación y operación de los equipos de los canales digitales. El proceso de transición a la TDT incluye seis periodos trianuales revisables, en el que se combinan, para cada periodo y en forma progresiva, la Presencia y Réplica Digital de las transmisiones en las actuales coberturas analógicas, entendiéndose por *Presencia* cuando las transmisiones de señales de la TDT tienen niveles que superan el umbral de recepción de la señal de 41 dBu, en al menos el 20 por ciento del área de servicio<sup>1</sup> del canal analógico registrado en la Secretaría, y Réplica Digital de cobertura<sup>2</sup> cuando se supera el umbral de recepción antes señalado, en al menos el 90 por ciento del área de servicio.

#### **Primer periodo (a partir de la entrada en vigor de este Acuerdo y finaliza el 31 de diciembre de 2006)**

México, D.F., Monterrey, N.L., Guadalajara, Jal., Tijuana, B.C., Mexicali, B.C., Cd. Juárez, Chih., Nuevo Laredo, Tamps., Matamoros, Tamps. y Reynosa, Tamps., con al menos la Presencia de dos señales digitales comerciales.

#### **Segundo periodo (1° de enero de 2007 al 31 de diciembre de 2009)**

Réplica Digital de las señales comerciales del Primer Periodo.

Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de un millón y medio de habitantes en adelante.

#### **Tercer periodo (1° de enero de 2010 al 31 de diciembre de 2012)**

Réplica Digital de las señales del Segundo Periodo.

Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de un millón y medio de habitantes en adelante.

Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de un millón de habitantes en adelante.

---

<sup>1</sup> Los conceptos de área de servicio y zona de cobertura se encuentran definidos con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-03-SCT1-93.

**Cuarto periodo (1° de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2015)**

Réplica Digital de las señales digitales del Tercer Periodo.

Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de un millón de habitantes en adelante.

Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de quinientos mil habitantes en adelante.

**Quinto periodo (1° de enero de 2016 al 31 de diciembre de 2018)**

Réplica Digital de las señales del Cuarto Periodo.

Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de quinientos mil habitantes en adelante.

Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de ciento cincuenta mil habitantes en adelante.

**Sexto Periodo (1° de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2021)**

Réplica Digital de todos los canales analógicos, en todas las zonas de cobertura servidas por la televisión analógica.

Las líneas de acción de la política están sujetas a ser modificadas según las evaluaciones que realice el CCTDR del proceso de transición a la TDT, para lo cual, entre otros factores, considerará el monto de las inversiones realizadas por los permisionarios o concesionarios; el estado del mercado de receptores atendiendo a su penetración, disponibilidad y precio; mercado publicitario; información de encuestas; número de estaciones concesionadas o permisionadas de televisión; capacidad económica de la población, además de atender a los reportes anuales (figura 5.3.2) que los concesionarios o permisionarios entregarán a la SCT a partir de 2007. En la figura 5.3.2 se muestra el Anexo I muestra el formato del reporte que deben presentar concesionarios y permisionarios para el seguimiento de la transición a la TDT

**ANEXO I  
INFORMACIÓN REQUERIDA DE LOS CONCESIONARIOS Y PERMISIONARIOS PARA EL  
SEGUIMIENTO DE LA TRANSICIÓN A LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

(El presente anexo es parte integral de la Política de Transición a la Televisión Digital Terrestre y la información podrá ser presentada a través de mecanismos o formatos que hagan más eficiente su análisis y evaluación)

- a) Nombre del Concesionario o Permisionario
- b) Distintivo de llamada
- c) Canal Adicional Autorizado
- d) Indicar si ha iniciado operaciones  
En caso negativo, grado de avance de las instalaciones y fecha probable de terminación.
- e) Información agregada de las inversiones realizadas, relacionadas con la transición a la TDT.
- f) Reporte sobre la calidad de la señal.  
Horas transmitidas en el canal digital.  
Total de Horas transmitidas en HDTV, EDTV y SDTV. Especificar modo de transmisión, por ejemplo 1920 X 1080e, 1280 x 720p, 640 X 480e, etc.  
Horarios de programación de HDTV, EDTV y SDTV.  
Niveles de audiencia disponibles.
- g) Mercado publicitario (en el caso de concesionarios).  
Ingresos asociados directa o indirectamente a la TDT.  
Encuesta que, en su caso, haya realizado con relación a la penetración de la TDT.
- h) Ingresos para el financiamiento de la TDT (en el caso de permisionarios).  
Presupuesto asociado a la operación e ingresos generales obtenidos por rubro.  
Ingresos adicionales directos o indirectos asociados a la TDT.  
Encuesta que, en su caso, haya realizado con relación a la penetración de la TDT.
- i) Nuevos servicios autorizados con base en la Ley Federal de Telecomunicaciones.
- j) Comentarios generales, en su caso.

Figura 5.3.2. Información requerida de los concesionarios y permisionarios para el seguimiento de la transición a la TDT

### 5.3.4. Requisitos para los concesionarios durante el periodo de transición

Los concesionarios y permisionarios están obligados a implantar la o las tecnologías que resuelva la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por lo que deberán observar y llevar a cabo todas las acciones en los plazos, términos y condiciones que le señale la propia SCT, a fin de garantizar la eficiencia técnica de las transmisiones.

Las Concesiones o Permisos nuevos que otorga la SCT a partir de la entrada en vigor del Acuerdo, están sujetas a las obligaciones de Presencia o Réplica Digital, según sea el caso y acorde a los plazos de los periodos trianuales de transición digital.

Los concesionarios y permisionarios que deseen obtener el refrendo deberán presentar su solicitud, incluyendo la información señalada en el Anexo II de la Política.

El Anexo II es un escrito que presenta la información del concesionario o permisionario donde solicita al Secretario de Comunicaciones y Transportes el refrendo de su concesión o permiso para la operación de un canal digital; las fechas de inicio de Presencia de su señal digital y Réplica digital, su conocimiento y aceptación de las condiciones de la citada Política de Transición a la TDT, acompañado del comprobante de pago de derechos previsto por la Ley Federal de Derechos vigente para la explotación de la banda del espectro radioeléctrico asignada de conformidad con las disposiciones legales aplicables.

El anexo III de la Política de Transición a la TDT hace referencia al título de refrendo de concesión para continuar usando comercialmente un canal de televisión, donde se obliga al concesionario a implantar la tecnología de la Televisión Digital Terrestre utilizando el estándar A/53 de ATSC conforme lo establece la Política, publicada el 2 de julio de 2004. Además se le condiciona a que su nacionalidad sea mexicana, aun cuando se trate de una persona moral.

Dado que la SCT evalúa el uso, aprovechamiento y explotación de una concesión cada tres años, el concesionario se encuentra, entre otros requisitos, sujeto a:

- Hacer buen uso del espectro radioeléctrico, manteniendo en buen estado los equipos con que opera la o las estaciones con que desempeña la actividad de la radiodifusión, no interrumpir sus transmisiones salvo causas de fuerza mayor, cooperar para la eliminación de interferencias perjudiciales que pudieran presentarse con otros servicios de radio y televisión.
- Ejecutar las acciones que la SCT establezca en materia de nuevas tecnologías, esto es, el concesionario deberá solicitar el canal adicional para las transmisiones de la TDT, al menos un año antes de que se cumpla el compromiso que haya establecido para la transición. Además, el concesionario deberá presentar las características técnicas con que proyecta instalar y operar los equipos necesarios del canal adicional de TDT. La Secretaría analizará la solicitud, de conformidad con el compromiso establecido y, de ser procedente, autorizará la instalación y operación de los equipos necesarios para la operación del canal adicional para la TDT que mejor satisfaga los criterios de optimización en el uso del espectro radioeléctrico y que se encuentre contenido en la Tabla de Canales Adicionales para la Transición a la TDT, establecido en la Política y, una vez asignado eliminará este canal de dicha tabla.
- En caso de que el concesionario solicite un título de concesión para la prestación de servicios de telecomunicaciones en el canal adicional para las transmisiones de la TDT, la prestación de éstos quedará sujeta a la Ley Federal de Telecomunicaciones y el Gobierno federal podrá establecer una contraprestación económica por dicha explotación.
- Otorgar cobertura con su señal a todas las poblaciones que se encuentren localizadas dentro de su zona de influencia.
- El concesionario deberá coadyuvar en las labores de investigación y desarrollo en el país, coordinado con la SCT, la CIRT u otras instituciones tecnológicas, para cuestiones que favorezcan el mejor uso del espectro radioeléctrico, así como en proyectos que aporten una mejoría a las tecnologías de radiodifusión existentes.

- En los casos en que el concesionario sea persona moral, en cualquier supuesto de suscripción o enajenación de acciones o de partes sociales, en un acto o sucesión de actos, el concesionario deberá dar aviso a la SCT de la intención de los interesados en realizar la suscripción o enajenación de las acciones o partes sociales, debiendo acompañarlo de la información de las personas interesadas en adquirir las acciones o partes sociales, así como de la documentación que acredite su nacionalidad mexicana.
- Es obligatorio que el concesionario grabe todas sus transmisiones en vivo y tenga copia de las mismas en las instalaciones de la estación a disposición de la Secretaría de Gobernación; otorgue al personal de inspección de la SCT y Secretaría de Gobernación las facilidades para que verifique el funcionamiento, la operación técnica de la estación y sus servicios auxiliares con que ofrece el servicio de televisión, y pagar las contribuciones que se deriven de las inspecciones y monitoreo a que se refiere esta condición.
- El funcionamiento técnico de la estación o estaciones con que se ofrezca el servicio de televisión podrá encomendarse a un profesional técnico aprobado por la SCT. Para lo que el Concesionario deberá hacer la propuesta respectiva a dicha secretaría, acompañando el o los documentos (currículum vitae, licencia de radiotelefonista, certificado de estudios, etcétera) que comprueben la capacidad técnica de la persona que desempeñará dicho cargo.
- El concesionario deberá coadyuvar en las labores de investigación y desarrollo en el País. Dichas labores podrán versar sobre cuestiones de naturaleza técnica que favorezcan el mejor uso del espectro radioeléctrico, así como proyectos que al efecto se propongan para la introducción de las nuevas tecnologías de radiodifusión o el mejoramiento de las mismas en el País.
- El Concesionario se obliga a proporcionar a la SCT y a la Secretaría de Gobernación, en los tiempos que señala la Ley y las disposiciones legales aplicables, todos los datos, informes y documentos que éstas le requieran en el ámbito de su competencia.
- El Concesionario deberá cumplir con lo establecido en la Ley, las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, la Política y las disposiciones legales aplicables en materia de la operación técnica de las estaciones de televisión y de sus servicios auxiliares.
- A propuesta de la SCT, el Concesionario, de acuerdo con sus posibilidades, admitirá en la estación, para efectuar prácticas, a estudiantes y pasantes de las carreras directamente relacionadas con la radiodifusión, siempre que se trate de personas que realicen sus estudios en escuelas reconocidas por el Estado.

Finalmente, el título de refrendo que el concesionario suscribe con la autoridad federal en materia de comunicaciones admite las condiciones a que lo somete dicho documento, contenido como anexo en la Política de Transición.

Existe todavía un cuarto anexo, que constituye el título de refrendo de los permisionarios para continuar usando un canal de televisión otorgado por el Gobierno federal a través de la SCT y donde se compromete a usar el estándar de televisión digital A/53 de ATSC. En dicha sección de la Política se establecen los requisitos y procedimientos que debe seguir el radiodifusor que utiliza un canal permisionado para acogerse a la regulación existente de transición a la televisión digital.

#### **5.4 Acciones llevadas a cabo en Estados Unidos y otros países de Latinoamérica respecto a la adopción y transición a la televisión digital**

Al igual que sucedió con la diversidad de estándares de televisión analógica, actualmente en varios de los países del mundo se debate sobre la adopción de alguno de los tres estándares de televisión digital. En muchos países ya se han realizado distintas pruebas de evaluación de esos estándares con la finalidad de observar cuál de estos es el que mejor se acopla a las condiciones de cada país. Estas pruebas han llevado a la adopción oficial de uno de estos estándares en varios países como lo es México. Por otro lado, existe también una gran cantidad de países que todavía no se han pronunciado a favor de algún estándar, debido a que han mostrado un aspecto pasivo en este punto, y otros que apenas están en miras de adoptar alguno de éstos.

En el caso específico de Latinoamérica, la CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) emitió una recomendación en el 2003 para que se adoptara un único estándar para todo el continente americano, principalmente a los Estados miembros de la OEA (Organización de los Estados Americanos) de la cual surge la CITEL. Sin embargo, las pruebas y conclusiones que se han realizado en distintos países de América, como en Brasil, hacen ver que tal vez esto no llegue a suceder, ya que mientras naciones como Canadá, Estados Unidos y México se adoptó el estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee), en Brasil por ejemplo se está optando por uno de los otros dos estándares con modulación COFDM, es decir, el ISDB o el DVB.

En los párrafos posteriores se explicará brevemente parte de las acciones que se han llevado a cabo en países con miras a la adopción de un estándar de televisión digital, principalmente en Brasil y Argentina por parte de Sudamérica y Canadá y Estados Unidos por parte de Norteamérica.

##### **5.4.1. Estados Unidos**

El desarrollo de la televisión digital se inició en 1987, en ese momento incluso el tema recurrente no era la digitalización de la TV sino el “Servicio de Televisión Avanzado” (servicio de ATV) y únicamente se tenían algunas vagas ideas para mejorar dicho servicio. Existía una gama de nuevas tecnologías analógicas para televisión que se encontraban en distintas etapas de diseño buscando mejorar la calidad del sonido y de la imagen. Algunas usaban diferentes cantidades del espectro y distintos métodos de transmisión y recepción.

La FCC estableció un grupo de especialistas al que denominó “Comité Asesor de Servicio de Televisión Avanzado (ACATS)”, conformado por 30 miembros, todos ellos líderes de radiodifusión de televisión, televisión por cable, productos electrónicos, producción de programas y empresas de la industria de la computación. Al ACATS se le encomendó la misión de evaluar las tecnologías del servicio ATV y el desarrollo de recomendaciones para la FCC.

En 1988 y 1989 la FCC formuló por primera vez una política de ATV mediante el anuncio de varias decisiones tentativas clave: 1) que mediante la provisión del uso de técnicas de ATV para la radiodifusión terrenal el público resultaría beneficiado, 2) que los beneficios de esta tecnología podrían llevarse a cabo más ágilmente si se autorizaba a los organismos de radiodifusión existentes implementar la ATV, 3) que cualquier espectro necesario para el sistema de radiodifusión de ATV se obtendría del espectro ya atribuido a la radiodifusión de la televisión, 4) que el servicio existente para los televidentes que utilizaban los receptores de NTSC debían continuar sin tomar en cuenta la manera actual en que los servicios de ATV se recibían, por lo menos durante el periodo de transición, lo cual podía lograrse por medio de señales de transmisión de ATV que podrían recibir directamente los receptores de NTSC o transmisión cuasisíncrona de NTSC y señales de ATV incompatibles en diferentes canales, 5) que los sistemas de ATV que utilizarán más de 6 MHz de espectro no se autorizarían para el servicio de radiodifusión de televisión terrenal, y 6) que las políticas a adoptarse debían ser

susceptibles a los beneficios de compatibilidad entre el equipo asociado con los distintos medios de entrega de video.

Luego de revisar el progreso del ACATS en la evaluación de tecnologías de ATV candidatas y de seguir la introducción de todos los sistemas digitales de ATV candidatos en 1990, la FCC asumió las siguientes decisiones en 1991: 1) seleccionar un sistema de televisión de Alta Definición (HDTV) que empleara diseños de principios independientes de los sistemas de NTSC existentes (los cuales permitirían una mejora sustancial en la cantidad de servicio), y 2) no prestar más consideración a los sistemas de transmisión que requerían espectro adicional para aumentar el canal de 6 MHz utilizado para la radiodifusión de televisión en Estados Unidos.

Posterior a esa decisión, el ACATS se comprometió a revisar cinco sistemas candidatos, siendo cuatro de ellos sistemas digitales. Al final de ese proceso, fue claro que los sistemas digitales eran superiores a los sistemas analógicos candidatos, pero no existía un sistema superior entre los candidatos digitales. El presidente del ACATS, otrora también presidente de la FCC, Richard E. Wiley, exhortó a los proponentes de los sistemas digitales a que trabajaran juntos en la elaboración de una propuesta de un único sistema que reuniera los mejores elementos de los cuatro sistemas digitales participantes. En respuesta a esta sugerencia, los proponentes formaron la "Gran Alianza de HDTV Digital", y bajo la dirección del ACATS se desarrolló un único sistema digital, probado por el ACATS. La FCC supervisó el proceso de prueba, así como el desarrollo subsiguiente del sistema de la Gran Alianza a través de su personal.

El Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC), que es una entidad existente de normas entre la industria que trabajó muy de cerca con el ACATS, documentó el sistema de la Gran Alianza y también desarrolló un consenso de la industria sobre los formatos de video con definición regular a incluir en el sistema. La Norma de Televisión Digital del ATSC resultante fue adoptada por los miembros del ATSC en septiembre de 1995. En noviembre de 1995, el mismo ACATS aprobó la Norma del ATSC y recomendó a la FCC que fuera obligatorio para la radiodifusión de DTV en Estados Unidos. Un poco después, el FCC inició un proceso de comentarios públicos de gran alcance en donde todas las partes interesadas podían expresar sus puntos de vista sobre la norma propuesta y las políticas asociadas para la introducción de la radiodifusión de la televisión digital. Después de seguir un largo proceso para obtener la opinión y comentarios públicos, el 24 de diciembre de 1996, el FCC publicó formalmente la decisión donde se establece al sistema ATSC como la norma DTV de los Estados Unidos.

El Gobierno de Estados Unidos está implementando el servicio de radiodifusión de DTV como una tecnología de reemplazo de la tecnología analógica existente del Comité Nacional de Estándares de Televisión (NTSC por sus siglas en inglés) que se ha utilizado para la transmisión del servicio de radiodifusión de televisión en ese país desde finales de 1940. Debido a que el sistema de televisión digital ATSC se pensó como una tecnología de reemplazo para el sistema NTSC, a todas las estaciones idóneas existentes se les proporcionó un canal secundario para utilizarlo en el servicio de DTV durante el periodo de transición de la señal analógica a la digital. Este periodo de transición inició en 1997 y se planteó para que finalizara el 31 de diciembre de 2006. Al final de este periodo de transición, las estaciones de TV descontinuarán las transmisiones analógicas de manera que todos los servicios de radiodifusión de televisión se harán en forma digital. La FCC también recuperará uno de cada dos canales de las estaciones de TV durante este periodo. Debido a que el funcionamiento con la norma de ATSC es muy eficiente en el uso del espectro, a todas las estaciones existentes de TV les será posible operar con una menor cantidad de espectro de banda ancha y, por ello, permitirá que una porción de los canales de TV existentes (2 al 69) se recuperen para nuevos usos. El plan del Gobierno de Estados Unidos contempla que todas las estaciones de DTV funcionen en los canales 2 al 51 (el espectro principal de la DTV) luego que la transición finalice y recuperar los canales 52 al 69 (698 MHz a 806 MHz) para nuevos usos.

Para el desarrollo de las políticas de este cambio, la FCC se ha propuesto cuatro metas para el servicio de TV:



- Mantener un servicio de radiodifusión universal y gratuita;
- Promover una transición ordenada y ágil hacia la televisión digital, sin dejar de tomar en cuenta la inversión que el consumidor ha hecho en aparatos de televisión de NTSC;
- Administrar el espectro para permitir la recuperación de bloques de espectro continuo para promover la eficiencia del espectro y brindarle al público el beneficio total de este espectro, y
- Garantizar que el espectro (tanto de los canales de DTV como de los canales recuperados) se utilice de manera que preste el mejor servicio para los intereses del público.

En agosto de 2002, a manera de lograr agilizar la transición a DTV, la FCC reglamentó la introducción de los sintonizadores digitales en un plazo no mayor al año 2007 en todos los aparatos de televisión. El plan fue el siguiente:

**Receptores de 36 pulgadas o superiores.** El 50% de las unidades deben incluir sintonizadores de DTV para el 1º Julio de 2004 y el 100% para el 1º de Julio de 2005.

**Receptores de 25 a 35 pulgadas.** El 50% de las unidades deben incluir sintonizadores de DTV para el 1º de Julio de 2005 y el 100% para el 1º de Julio de 2006.

**Receptores de 13 a 24 pulgadas.** El 100% de las unidades deben incluir sintonizadores de DTV para el día 1 de Julio de 2007.

**Dispositivos de interfase de TV, como videocaseteras y reproductores/grabadores de DVD** deben incluir sintonizadores de DTV para el 1º de Julio de 2007.

Actualmente, el periodo de transición de la televisión digital en Estados Unidos se ha extendido a finales del año 2009, sin embargo, este periodo ya se encuentra en una etapa muy avanzada con una cobertura casi total.

#### 5.4.2. Brasil

En Brasil, el organismo regulador de las telecomunicaciones es Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), que es el responsable de la decisión sobre el sistema de televisión digital a ser adoptado.

Los procedimientos para la selección del sistema digital en este país comenzaron en noviembre de 1998. El Grupo Abert/SET TV Digital, formado por Abert (Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão) y SET (Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão), junto con la Universidad de Mackenzie, realizó pruebas de campo y de laboratorio con los tres sistemas en la ciudad de Sao Paulo, que empezaron en septiembre de 1999 y terminaron el 30 de marzo de 2000.

Según Abert/SET las conclusiones fueron las siguientes:

- El sistema ATSC es técnicamente inadecuado para Brasil, el desempeño de las pruebas en ese entonces fue considerado pobre.
- Los sistemas DVB-T y ISDB-T cumplen los requisitos mínimos de mejorar, o por lo menos igualar, la recepción de los actuales analógicos y de transportar HDTV, además de añadir nuevas aplicaciones.
- El sistema ISDB-T es significativamente superior al DVB-T en lo que se refiere al rendimiento para la recepción portátil o móvil, algo importante para asegurar la competitividad del servicio de radiodifusión de sonidos e imágenes en el futuro, además de ofrecer más flexibilidad de aplicaciones. Dentro de las necesidades actuales, el ISDB-T es superior al DVB-T en inmunidad al ruido.

Por lo tanto, las pruebas demostraron que el mejor sistema para Brasil sería el japonés, porque cumple con los requisitos, principalmente de movilidad.

Sin embargo, las conclusiones de las pruebas no significaron que el sistema europeo o el japonés sea el elegido por Anatel, ya que la decisión se tenía que someter a consulta pública.

Además, las pruebas y sus resultados de los estándares en ese entonces resultaron muy confusas. ATSC envió cartas a Anatel argumentando que hubo fallos durante las pruebas de campo, como evaluar los sistemas en condiciones y lugares diferentes en la ciudad de São Paulo. Profesores de Unicamp que estudiaban la TV digital desde 1995 también entregaron a Anatel un informe diciendo que había imperfecciones de procedimiento y evaluación en las pruebas de Abert/Set. Esto trajo como consecuencia una indecisión sobre la adopción de un estándar en ese momento, y se siguieron realizando pruebas posteriormente con equipos de generaciones posteriores.

Con el fin de llevar a cabo un análisis detallado de los aspectos tecnológicos, reglamentarios, sociales, industriales, económicos y de competencia internacional que respalden con una perspectiva integral la decisión de instalar el sistema TTD en Brasil, su Gobierno decidió incorporar la participación de varios sectores de la sociedad, para lo cual se crearon dos comités (el Comité de Desarrollo y el Comité Consultivo) y un Grupo de Gestión.

El Comité de Desarrollo asumió oficialmente sus funciones el 10 de marzo de 2004, presidido por el Ministerio de Comunicaciones e integrado por órganos del Gobierno federal. Su función consiste, entre otros, en establecer las directrices estratégicas para la instalación de la tecnología digital en el servicio de radiodifusión de imagen y sonido y disponer los lineamientos básicos de los modelos comerciales para la televisión digital.

El Comité Consultivo fue oficialmente establecido por el Comité de Desarrollo el 20 de mayo de 2004 y está integrado por representantes de la sociedad civil organizada vinculados al área de la televisión digital; su función consiste en proponer al Comité de Desarrollo directrices y acciones relativas al Sistema de Televisión Terrenal Digital.

El Grupo de Gestión, del cual forma parte Anatel, tiene a su cargo llevar a cabo acciones relativas a la gestión administrativa y operacional con el propósito de cumplir las estrategias y directrices establecidas por el Comité de Desarrollo. El Grupo de Gestión asumió sus funciones el 10 de marzo de 2004 y a partir de entonces ha celebrado reuniones semanales para el seguimiento de los progresos alcanzados en el proyecto del Sistema de Televisión Terrenal Digital.

A pesar del paso del tiempo y las diferentes pruebas que se han seguido haciendo, se sigue teniendo una tendencia por los estándares que usan modulación COFDM, incluso se planteó la idea, en el año 2003, de desarrollar un estándar propio al estilo de su actual PAL M para TV a Color. En este último proyecto se llamó sistema de televisión digital del Brasil (SBTVD) y se creó mediante decreto presidencial en Noviembre del 2003; se pensaba que desarrollar un estándar propio garantizaría que su industria abasteciera al mercado interno, con la posibilidad de adherirse a otros países y mejorar su perfil exportador. Aunque también se corría el riesgo de que se repitiera la experiencia del PAL M donde los industriales fijaron los precios de los productos hogareños por fuera de los precios de referencia del mercado global, situación parecida a Argentina con el PAL N. Para este proyecto se tenía como socios a China e India.

Esta idea del estándar propio se descartó a mediados de 2005 debido a que los costos para lograrlo eran prohibitivos, por lo cual se reanudaron las negociaciones con varios de los grupos extranjeros para determinar el estándar de los tres que ya existen conveniente a su país.

Todo parece indicar que Brasil se inclinará por el estándar japonés ISDB. El 20 de abril de 2006, el Gobierno de Brasil y el de Japón firmaron un memorándum de entendimiento para la posible implantación del sistema japonés de televisión digital en el país sudamericano. En caso de que este estándar se adopte, dicho memorándum tendrá también como objetivo la construcción de las bases para volver viable y desarrollar conjuntamente la respectiva plataforma industrial electrónica brasileña. Como parte del acuerdo, Brasil no pagará los derechos por el uso de la patente de la tecnología ISDB-T, mientras recibirá apoyo japonés

para el entrenamiento de personal así como posibles inversiones para el desarrollo de una industria de semiconductores con la implantación de fábricas en este país.

Según se mencionó en un comunicado de prensa, Brasil aspira implantar el sistema progresivamente desde este año y hasta que cubra todo el país en un plazo de 15 años, considerando más de 60 millones de televisores y 85 millones de celulares.

### 5.4.3. Argentina

Considerando que el tema de la TV Digital en Argentina no debía pasar por el mismo proceso que el PAL N, (estándar propio, versión del estándar Phase Alternation Line, que produjo un aislamiento con otros países y precios altos en los equipos receptores) se creó en 1997 la Comisión de Televisión Digital. La función de esta comisión era la de evaluar la factibilidad del sistema, proponer normas técnicas, efectuar un estudio de los sistemas americano ATSC y europeo DVB y proponer un plan tentativo de distribuciones de frecuencias en las bandas VHF y UHF. Asimismo se estableció un periodo de pruebas de emisiones que comenzó el 28 de Septiembre de 1998.

En 1998 se dicta la resolución 433/SC 98 que establece los parámetros mínimos para poder realizar las primeras transmisiones experimentales.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

- El modelo de TV Abierta, Cable y Satélite es muy similar al de Estados Unidos.
- Respetar los 6 MHz de canalización según la región II (América) de la UIT.
- Oportunidad de transmitir la mayor calidad posible (HDTV) desde el inicio, para evitar la experiencia australiana (triple-cast<sup>2</sup>).
- Posibilidad industrial de fabricar conversores de bajo costo de HDTV a NTSC, para ser usados con los actuales TV analógicos.
- Evitar el aislamiento con el paso del tiempo, tal el caso del PAL N, al aparecer nuevas prestaciones y dispositivos que se desarrollen sólo para los mercados comerciales originales del estándar más dinámico en la región.
- Aprovechar la disponibilidad de soluciones para distintos tamaños de emisoras, ya que en el mercado de Estados Unidos existen radiodifusores grandes, medianos, y chicos, y la industria ofrece productos para todas las posibilidades económicas.
- La disponibilidad de productos y servicios ya desarrollados para la TV Pública.

Teniendo en cuenta estas premisas, se propuso verificar el estándar natural de la región en 6 MHz (ATSC), evitando hacer pruebas costosas entre todos los estándares y consideradas de escasa validez ya que las cualidades de la tecnología iban cambiando rápidamente.

Además se tuvieron en cuenta los siguientes beneficios del estándar

- Se contaba con equipamiento disponible y sin modificaciones, y a precios verificables en el mercado.
- La modulación 8-VSB necesita la mitad de potencia que las modulaciones COFDM para una misma área de cobertura, con el ahorro correspondiente.
- Los 4 dB de diferencia a favor de 8-VSB, obliga a que con COFDM se deba duplicar la potencia para cubrir la misma área de cobertura o tener que disminuir la capacidad de datos, para lograr así mayor robustez frente al ruido radioeléctrico ambiental.

---

<sup>2</sup> Se refiere a triplecast debido a que en Australia se transmiten tres señales de la misma programación, una digital en SDTV, otra digital en HDTV, y la original analógica. Sucedió esto por que inicialmente en Australia se empezó primero a transmitir en STDV y no directamente en HDTV, debido a que los primeros sintonizadores sólo tenían capacidad de SDTV y no HDTV. Ahora se transmite en SDTV también para aquellos usuarios que hicieron el gasto inicial de comprar los primeros sintonizadores.

- Es más robusto frente a los ruidos impulsivos al estar diseñado íntegramente para transmisiones terrestres.

Finalmente, en octubre de 1998 se dicta la resolución 2357/SC 98 adoptando el estándar ATSC como el adecuado para el mercado argentino de televisión abierta, libre y gratuita, sin definir plazos, ni en la puesta en marcha ni en el periodo de transición, esto debido principalmente a la falta de fuerza del mercado argentino comparado con su equivalente Norteamericano.

Comenzadas las pruebas técnicas iniciales y formalizada la decisión del estándar, los radiodifusores integraron más equipamiento para las transmisiones y realizaron pruebas y verificaciones más complejas, enviando los resultados en forma periódica a la CNC y al COMFER.

Sin embargo, con la entrada de un nuevo Gobierno a fines de 1999, el nuevo Secretario de Comunicaciones declara que se pretende revisar la decisión adoptada sobre TV digital, ya que la elección del sistema ATSC “se tomó sobre fundamentos incorrectos, con pruebas inexistentes, sin ningún tipo de coordinación con Brasil, y basándose en consideraciones falsas sobre la norma Europea DVB”<sup>3</sup>. De aquí se deja ver una posible derogación de la resolución 2357/SC98.

Hasta la fecha Argentina tiene adoptado todavía el estándar ATSC, sin embargo no existen transmisiones digitales con base en este estándar por lo que aún es incierto si ATSC permanecerá o habrá algún cambio. Por el momento se llevan a cabo encuentros con el Gobierno brasileño para adoptar el estándar de manera conjunta, en noviembre de 2005 se firmó un acuerdo a este respecto donde se especifica que trabajarán bajo un estándar común.

En cuanto al resto de los países del Mercosur, en un principio la tendencia fue hacia el estándar ATSC, sin embargo ahora están a la espera de lo que decida Brasil y Argentina en este aspecto. [7][25][43][44]

#### 5.4.4. Canadá

En Canadá, se adoptó el estándar A/53 de ATSC en 1997, y el 12 de junio de 2002 la Canadian Radio-television and Telecommunications Commission (CRTC) estableció una política de transición voluntaria impulsada por el mercado, consistente en el otorgamiento de nuevas licencias para operar estaciones digitales, con prioridad para los actuales licenciatarios, pero que en un futuro pueden participar terceros.

No existe un tiempo determinado para que esto suceda, ni tampoco una fecha para la conclusión de la transición a digital. El énfasis de la política de la CRTC se centra en lograr transmisiones de Alta Definición, pero se puede permitir la transmisión de varias señales en el mismo canal (multicasting) en casos particulares.

Industry Canada actualmente está desarrollando un plan para la Post-Transición a la DTV. El plan reducirá el uso de canales bajos en la banda VHF debido al aumento de alto nivel del ruido producido por el hombre en esa banda y restringen el uso de canales altos (52 al 59) de UHF. Los canales (60 al 69) no se usarán más para televisión pues esta porción de la banda será reasignada a otros servicios tales como salud pública y móvil comercial.

Sin ninguna fecha fija para la desconexión del servicio analógico, los consumidores canadienses seguirán recibiendo éste hasta que la penetración del servicio digital sea significativa. Por un periodo de tiempo indeterminado, los servicios de radiodifusión por televisión analógica y digital coexistirán en las bandas VHF y UHF. Eventualmente, los servicios de DTV remplazarán a los servicios analógicos de televisión terrestres.

---

<sup>3</sup> “Marcha atrás del país en norma para TV digital.” *Ámbito Financiero*, 4/5/00. Ver también Albornoz, Hernández, y Postolski (1999).

## 5.5. Futuro de la Televisión Digital en México

Este importante paso tecnológico de la televisión digital que se está implementando en México sin duda tendrá una repercusión muy importante en varios aspectos de la sociedad mexicana, debido a toda la variedad de servicios que se van a poder ofrecer. Primeramente, en la etapa del periodo de transición únicamente se está viendo por que todos los canales que hay actualmente en televisión analógica tengan su réplica en un canal digital, sin embargo, una vez que se termine el periodo de transición se espera que haya mas producciones y todavía más canales de los que existen actualmente (cuatro o cinco veces más), por lo cual los televidentes mexicanos van a tener más opciones en cuanto a programación de acuerdo con sus intereses, aunque resultaría lógico pensar, y de manera similar a lo que ocurre hoy día, que no se garantiza que estas nuevas producciones tengan la calidad en contenido que todos desearían y seguramente nos encontraremos con una gran cantidad de programas que dejen mucho que desear.

Conforme transcurra el tiempo se tendrá un mayor uso y explotación de la televisión interactiva. Con este nuevo servicio, el usuario final dejará de ser un espectador pasivo y disfrutará de una amplia variedad de aplicaciones dentro de esta tecnología.

La digitalización va a permitir, por ejemplo, mejorar los eventos deportivos con servicios de información, análisis de eventos, múltiples perspectivas de cámara, contenidos de juegos, etcétera. En los países más avanzados en el aspecto de introducción de la televisión digital ya se están implementando algunas de estas técnicas, en México aún no ocurre masivamente pero en un futuro no muy lejano tendrá verificativo. Actualmente el radiodifusor es el único que tiene la capacidad de alterar el contenido de A/V, pero en un futuro el usuario va a poder seleccionar la información, ángulo de cámara, etcétera, que desee.

Aplicaciones simples que se desarrollan actualmente para la computadora pueden resultar interesantes para migrar a la plataforma de TV digital. El equipo de televisión digital también es una computadora de pequeña escala en el hogar del consumidor, ya que es capaz de realizar tareas sencillas de las que ésta hace actualmente. Sólo hay una gran ventaja: que los gastos de mantenimiento para las computadoras personales (PC) son mucho más altos, mientras que el STB (set-top-box) es un dispositivo embebido. Esto lo hace una excelente plataforma para la implantación de aplicaciones basadas en computadoras como organizadores personales de vida, libreta de direcciones y bases de datos multimedia para el hogar, entre otras cosas.

Por otro lado existen los equipos receptores de televisión digital que en México, aprovechando las economías de escala, se espera que cada vez más bajen de precio al consumidor, a tal grado que se llegará a conseguir un televisor digital por el precio que actualmente se tiene que pagar por uno analógico, o incluso de menor costo. La autoridad espera que para el 2012 la penetración de la televisión digital en el País llegue al menos a un millón de hogares, si se da la baja esperada en los precios de los equipos.

Estos equipos pueden presentar mejoras en su diseño y funcionamiento y también pueden surgir nuevas tecnologías o accesorios los cuales puedan integrarse con los receptores que conocemos ahora.

Actualmente existen varias ideas, algunas de las cuales ya se están desarrollando en algunos países más avanzados, y otras que se podrían estar implementando en un futuro cercano, de 2 a 4 años.

- **PVR (Personal Video Recorders).** Se trata de discos duros que se incorporaran a los televisores o decodificadores, o incluso podrán ser dispositivos de memoria externos que permitirán grabar los espacios de interés. Esto se piensa que se pueda hacer con multitud de opciones, como por ejemplo, programando la grabación de nuestros contenidos favoritos evitando incluso la publicidad. De esta manera, se va a poder tener un mejor aprovechamiento de la gran cantidad de canales que van a existir, ya que

mientras se ve uno, simultáneamente se puede estar grabando otro que resulte interesante para verlo posteriormente.

- **3D-TV y Pantalla de Niebla.** Ya se han hecho varios experimentos sobre la 3D-TV. La tercera dimensión no sólo soporta los procesos de producción sino que también se puede poner como una característica del equipo terminal. En estos televisores se pone una capa delgada de “lentes lenticulares”<sup>4</sup>, la cual se coloca en un ángulo despreciable respecto a la vertical. Esta capa delgada de lentes microscópicos es muy similar a los lentes de plástico usados en las tarjetas de 3D de Baseball.

Aparte de la 3D-TV, diferentes tipos de tecnología avanzada para receptores permiten al espectador nuevos escenarios fascinantes para la televisión digital, como pueden ser las mejoras en la resolución de píxeles, profundidad de los colores y mayores áreas de desplegado de imágenes.

Un ejemplo de una novedosa y original tecnología de despliegue que puede estar en los hogares de los consumidores algún día es la “pantalla de niebla” o “fogscreen” desarrollada por Ismo Rakkolainen, la cual despliega imágenes que parecen estar flotando sobre una capa delgada de aire. Esta innovadora forma de desplegar imágenes utiliza un generador de niebla, el cual crea un muro delgado de niebla donde se proyecta la imagen.

- **Ratón para TV digital basado en visión.** El ratón es un dispositivo de entrada muy común e indispensable usado en las computadoras personales. Se ha pensado en la implantación de un ratón para TV digital basado en la visión. Funciona de la siguiente manera: una cámara web que sirve de dispositivo de entrada se conecta al receptor de televisión digital, esta cámara permite obtener los parámetros de posición de un marcador que se encuentra en la mano del televidente. Estas posiciones se transmiten a una aplicación que controla el movimiento de un cursor virtual en la pantalla de la TV digital. Los clicks del ratón para seleccionar objetos en la pantalla se pueden hacer mediante movimientos rápidos del marcador sostenido por el televidente o con movimientos hacia atrás o hacia adelante. Este ratón basado en visión para TV digital incluso puede ser empleado para personas con necesidades especiales.

Estas son sólo algunas de las ideas que se están desarrollando, sin embargo puede haber una gran variedad de inventos o adecuaciones innovadoras que pueden surgir más adelante y conforme el avance tecnológico lo permita.

Otro de los cambios que va a tener la televisión digital en un futuro y que puede no resultar tan bueno es el modelo de los anuncios comerciales. Esto adquiere bastante importancia ya que la publicidad es la gran fuente de financiamiento de la TDT y es lo que permite que el servicio sea gratuito. Las agencias empiezan a identificar nuevas formas de realizar sus anuncios, esto debido a que con el servicio a la carta y también debido a los equipos como los PVR, el usuario va a poder saltar los comerciales y grabar sólo el programa deseado. Estas nuevas formas de anunciarse pueden no ser tan atractivas para el televidente, como por ejemplo realizarlos dentro del mismo programa en subventanas que ocupen espacio y oculten parte del programa, lo cual puede resultar molesto, o incluso publicidad de forma interactiva, de manera que el usuario pueda consultarla en el momento que desee de acuerdo a sus intereses con sólo seleccionarla, pero la pregunta que se debe hacer en este caso es ¿se perderá alguien parte de un partido u otro espacio de su interés para interactuar con un anuncio? La necesidad de las marcas de anunciarse y que deban hacerlo en los mismos contenidos pueden provocar que los programas del futuro se saturen de publicidad.

La introducción de la televisión digital contribuye con su granito de arena en lo que se denomina convergencia digital. En este caso la convergencia se refiere a la interconexión de múltiples medios de manera que se pueda crear un espacio de servicios de telecomunicaciones en el cual el consumidor esté inmerso. Todavía no se puede prever si la televisión será el actor

---

<sup>4</sup> Lenticular se refiere a la forma que tienen estos lentes, es decir en forma de lenteja

principal dentro de esta convergencia o sólo será un medio más. Tal vez se pueda considerar el conjunto de TV digital como un punto de acceso para servicios, actuando como un portal de servicio para el hogar multimedia, donde con la ayuda de un control remoto será posible controlar el refrigerador, ajustar las luces de las recámaras, recolectar datos de pequeños dispositivos como cámaras digitales, y obtener control sobre otros equipos multimedia y dispositivos del hogar.

Algunas de las primeras soluciones en este aspecto las están trabajando empresas trasnacionales como JVC, Mitsubishi, NBC Universal, Samsung y Sun Microsystems, las cuales crearon una alianza de redes de audio y video de Alta Definición (HANA, High-Definition Audio-Video Network Alliance) para dar servicios especiales a partir del 2007, a las personas que ya cuenten con equipo y señal para televisiones de Alta Definición. En específico, HANA diseñará los estándares técnicos para la creación y estructura de las redes de Alta Definición, a fin de garantizar la velocidad de transmisión y su seguridad.

Las empresas que conformaron esta Alianza a finales de 2005, anunciaron que comercializarán sus primeras aplicaciones en 2007, que permitirá ver y grabar más de cinco canales de Alta Definición de manera simultánea sin afectar la calidad de servicio de la transmisión. Además se podrá ver y grabar la transmisión de televisión en cualquier parte del hogar con sólo tener un decodificador, compartir el contenido personal de una PC a cualquier dispositivo digital, construir redes para el hogar con otros equipos en forma escalable y manejarlos, a través de un solo control remoto por habitación.

Se establecerá una fuerte protección en la transmisión del contenido, se creará un sistema de autoorganización de los dispositivos de la red residencial y para la segunda mitad de 2007 proyectan lanzar servicios de contenido interactivo para consolas de videojuegos, DVD de Alta Definición, sistema de teatro en casa y otros equipos portátiles.

Las empresas están desarrollando soluciones tecnológicas que permitirán a los proveedores y consumidores explotar al máximo la nueva tecnología con nuevos servicios, que con el sistema análogo no se podían desarrollar.

Debido a los rápidos cambios tecnológicos es difícil y aventurado predecir cuál dispositivo será, dentro del hogar de los consumidores, el principal elemento de una red. La televisión digital es un fuerte candidato a ocupar ese sitio, y con seriedad puede ser considerada un factor que revolucione la tecnología para el hogar, que desemboque en la integración del *hogar multimedia*. [21]

## Conclusiones

---

El tránsito de la televisión analógica a digital sin duda significa un avance en la evolución de esta tecnología, las posibilidades que brinda son bastantes y variadas, y abren nuevas oportunidades tanto de negocio para los radiodifusores como de beneficios para el televidente. Cuando se habla de televisión digital necesariamente se tiene que pensar en un estándar, pues existen tres de éstos, cada uno con diferentes características.

En el presente trabajo se describió particularmente el estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee), ya que éste fue adoptado oficialmente en nuestro País, aunque también se incluyeron algunos comentarios sobre las características de los otros estándares (DVB, Digital Video Broadcasting e ISDB, Integrated Services Digital Broadcasting). El ATSC no es un estándar que se caracterice por su sencillez, tiene una amplia variedad de características que lo hacen complejo de entender en su totalidad.

Enfocándonos a la televisión digital terrestre se analizaron dos grandes bloques principales de este estándar: la transmisión y la recepción. Dentro de estos bloques se incluyen una gran serie de procesos de las señales digitales. Básicamente se observó durante este análisis que el ATSC está compuesto a su vez de otros estándares más específicos.

En la transmisión se analizaron cuatro procesos, los cuales son la codificación de audio con el estándar AC-3, la codificación de video con el uso de MPEG-2, el sistema de multiplexaje y transporte también empleando MPEG-2, y el sistema de modulación con la técnica VSB (Vestigial Side Band, Banda Lateral Residual). En la recepción básicamente se tienen varios de los procesos inversos de la transmisión, y muchas de las técnicas y principios de los receptores digitales son los mismos que para los receptores analógicos, con algunas diferencias y procesos adicionales que lo hacen un poco más complejo.

México fue uno de los primeros países en Latinoamérica en realizar las pruebas de evaluación del comportamiento de los tres estándares de televisión digital, y también fue de los primeros en adoptar uno de éstos. La decisión tomada a favor del estándar ATSC se realizó después del análisis de diferentes aspectos además del técnico, el cual era obvio incluir.

La aplicación de pruebas, aunque no se hayan realizado con estricto apego a las recomendaciones de la FCC, arrojaron los resultados suficientes para obtener las características de desempeño de los tres estándares para las diferentes condiciones topográficas y urbanísticas de la Ciudad de México. Es así como en la planeación de las pruebas se eligieron sitios distintos, desde lugares altamente poblados para observar el efecto de multitrayectorias, hasta zonas de sombra e incluso zonas con y sin línea de vista. Los resultados de las pruebas, en la mayoría de los parámetros considerados, es decir, eficiencia de uso de ancho de banda y cobertura e intensidad de la señal, favorecieron el estándar ATSC, pero no así otras características como la movilidad.

Se debe mencionar que a pesar de la objetividad con que se realizaron estas pruebas de evaluación, México ya tenía una cierta predisposición por adoptar el ATSC, en principio porque es el estándar del País vecino del norte, y con el cual se mantiene una estrecha relación comercial. Pero más allá de la cercanía geográfica con Estados Unidos, existen varias razones por las que se eligió al ATSC como estándar para la televisión digital terrestre, pudiendo citarse las siguientes:

- Con la mitad de potencia que sus competidores (DVB e ISDB) se puede transmitir un nivel suficiente de portadora a los receptores o sintonizadores de televisión digital.



## Conclusiones

- El estándar estadounidense utiliza un ancho de banda de 6 MHz, acorde con el que actualmente emplea la televisión analógica en nuestro País, lo que hacía más transparente la transición tecnológica.
- Permite la recepción de Alta Definición en los telehogares ajustándose a ese mismo ancho de banda. De acuerdo con los análisis estadísticos realizados por parte del Comité Consultivo de las Tecnologías Digitales para la Radiodifusión y debido al gran número de televisores fijos que hay en el País, concluyeron que el negocio de la televisión digital está en la explotación de la Alta Definición, más de lo que puede ser la característica de recepción en móviles. La HDTV únicamente fue lograda por ATSC, ya que con el estándar DVB e ISDB no se consiguió y eso fue un contundente punto a favor para seleccionar al ATSC.
- La cantidad de datos útiles que viajan por el canal de transmisión usando ATSC es mayor que los que viajan por DVB terrestre, debido al tipo de codificación de canal que emplea este último. Esta es la razón por la cual ATSC puede proveer señales en formato de Alta Definición e incluso ofrecer servicios adicionales que impliquen transmisión de información digital.
- Uno de varios factores económicos que favoreció la adopción del A/53 de ATSC, fue que los habitantes de las ciudades fronterizas del norte del País podían adquirir fácilmente un sintonizador de televisión digital por lo asequible y económico de conseguirlo en tiendas estadounidenses, además de tener la posibilidad de ver la programación de estaciones norteamericanas que iniciaron transmisiones varios años antes que las cadenas televisoras nacionales.
- Elegir el estándar ATSC favorecía el bajo costo de los receptores debido a las economías de escala, ya que en los últimos años este tipo de receptores han bajado más de la mitad de su precio inicial.

Con la adopción oficial del estándar ATSC se estableció la Política de Transición a la Televisión Digital Terrestre, y por la cual se resolvieron varias de las incertidumbres legales que tenían los radiodifusores para iniciarse en este proceso, como el refrendo automático de la concesión.

Se estableció un periodo de transición de 18 años, con flexibilidad de extenderse de acuerdo con las variaciones en las condiciones económicas del País. Cabe destacar que en este documento de alguna forma se dio cierta protección a los radiodifusores permisionados, ya que las radiodifusoras comerciales son las que tienen que dar el primer paso en el proceso de transición tecnológica haciendo sustanciosas inversiones, y para cuando se llegara a una etapa más avanzada del proceso, con un mayor número de televidentes, las estaciones permisionadas podrían iniciar su proceso transitorio.

Por otro lado está la televisión interactiva, servicio que sin duda representará uno de los puntos fuertes de la televisión digital debido a las amplias posibilidades de servicios que podrán explotar los radiodifusores comerciales. Desde el punto de vista legal, a los radiodifusores les conviene que la interactividad se encuentre regida por la Ley Federal de Telecomunicaciones (LFT) en lugar de la Ley Federal de Radio y Televisión (LFRT), esto debido a que en la LFT se establecen las bases para cobrar por los servicios de datos. Es en este punto en el cual los radiodifusores prevén recuperar sus recursos económicos invertidos durante la transición, además de las ganancias obtenidas por publicidad. Recientemente, ambas leyes fueron reformadas y permiten a los radiodifusores brindar servicios adicionales de datos mediante el otorgamiento de una concesión de redes de telecomunicaciones, con lo que estos servicios quedan sujetos a la LFT.

Sin duda la introducción de la televisión digital en México es ya un hecho. Actualmente existe un progreso en su implantación de acuerdo con lo establecido en la Política de Transición, aunque todavía resulta apresurado afirmar si esta transición se completará dentro de los plazos previstos por el documento. De hecho, por la experiencia en otros países, tal vez este periodo llegue a extenderse un par de años más a lo originalmente establecido.

## *Conclusiones*

La adopción del estándar ATSC fue una decisión que se realizó en un momento adecuado, no se podía prolongar más debido a que muchos países ya llevaban un avance considerable en la introducción de la televisión digital, y México no podía quedar rezagado como el resto de los países latinoamericanos que apenas están en miras de adoptar un estándar digital, más aun cuando existe una floreciente industria de fabricación de receptores cuyo principal mercado está en Norteamérica.

## Bibliografía

- [1] Acuerdo por el que se Adopta el Estándar Tecnológico de Televisión Digital Terrestre y se Establece la Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre en México. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de julio de 2004.
- [2] ATSC Standard. “*Digital Television Standard (A/53), Revisión D, incluyendo la enmienda No.1*”. Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Doc. A/53D, Julio 19 2005. [www.atsc.org](http://www.atsc.org).
- [3] ATSC Recommended Practice: “*Guide to the Use of the Digital Television Standard*,” Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Doc. A/54A, Diciembre 4, 2003. [www.atsc.org](http://www.atsc.org).
- [4] ATSC Recommended Practice: “*Developing DTV Field Test Plans*” Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Doc. A/75A, Julio 26, 2001. [www.atsc.org](http://www.atsc.org).
- [5] Benoit Hervé. “*Digital Television: MPEG-1, MPEG-2 and Principles of the DVB System*”. 1997. Editorial Arnold.
- [6] Brice, Richard. “*Newnes Guide to Digital Television*”. 1ra edición, 2000, reimpresión 2002. Editorial Newnes.
- [7] Bustamante N., Jenny. “*La Investigación de la Televisión Digital desde la realidad y las Perspectivas de América Latina*”. Universidad de los Andes. Venezuela. 2005. Documento PDF. [www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/logos/anteriores/n49/bienal/Mesa%2010/JennyBustamanteNewball.pdf](http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/logos/anteriores/n49/bienal/Mesa%2010/JennyBustamanteNewball.pdf)
- [8] Ciciora, Walter. “*Modern Cable Television Technology: Video, Voice and Data Communications*”. 2 ed. 2004. Editorial Morgan Kaufmann Publisher.
- [9] Collazo, Javier. “*Diccionario Collazo Inglés-Español de Informática, Computación y otras Materias*”. México, 2001. McGraw-Hill.
- [10] Delgado G., Alejandro. “*Flujos de Programa y de Transporte Mpeg-2 Aplicación a DVB*”. Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Julio 2001. Documento PDF. <http://www.etc.upm.es/tsmpeg2d.pdf>
- [11] DTV Station Project, RF Working Group, “*Indoor field test plan for digital television propagation*”. Noviembre 20, año 2000. Documento PDF. [www.zenith.com](http://www.zenith.com).
- [12] DTV Station Project, RF Working Group, “*General field test plan for digital television propagation*”. Noviembre 20, año 2000. Documento PDF. [www.zenith.com](http://www.zenith.com).
- [13] Entrevista al Ing. José Leonardo Ramos Mateos, Director de Proyectos de Alta Tecnología en Televisa y Director del Grupo de Televisión Digital en el Comité de Nuevas Tecnologías de la Cámara de la Industria y la Televisión de México.

- [14] Fischer, W. *“Digital Television: A Practical Guide for Engineers”*. 1ed. 2004, Alemania. Editorial Springer.
- [15] Grob, B., y Herndon, Ch. *“Televisión Práctica y Sistemas de Video”*. Editorial Alfaomega. México, 2002.
- [16] Ibarra R., Serrano. *“Principios de la Teoría de las Comunicaciones”*. México, 2001. Limusa.
- [17] INEGI. Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnología de Información en los Hogares. [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- [18] Iniciativa de Ley de la Ley Federal de Radio y Televisión y Ley Federal de Telecomunicaciones. Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados, número 1888-II, martes 22 de noviembre de 2005. <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/59/2005/nov/Anexo-II-22nov.html>
- [19] Ley Federal de Radio y Televisión del 19 de enero de 1960 con la última reforma aplicada el 11-04-2006. <http://www.camaradediputados.gob.mx/leyinfo/pdf/114.pdf>
- [20] Ley Federal de Telecomunicaciones del 7 de Junio de 1995 con la última reforma aplicada el 11-04-2006. <http://www.cddhcu.gob.mx/leyinfo/pdf/118.pdf>.
- [21] Lugmayr, Artur. *“Digital Interactive TV and Metadata: Future Broadcast Multimedia”* 1 edición. New York, 2004, editorial Springer.
- [22] Montante López, Rafael M. *“Revisión Técnica de los Estándares de Televisión de Televisión Digital Terrestre para su Evaluación en un Proceso de Adopción”*. Tesis para obtener el título de Maestría, IIMAS, UNAM, 2005.
- [23] Normas de TV Analógica. IRCO.2004. Documento PDF. [http://www.irco.net/catalogo/esp/pdf/APTEC-TVStandards\\_esp.pdf](http://www.irco.net/catalogo/esp/pdf/APTEC-TVStandards_esp.pdf).
- [24] Nota de Aplicación. *“MTS Stereo Plus SAP Sound (BTSC Standard) Demands a Cost-Effective Test Solution”*. Fluke Corporation. 1998. Documento PDF. [http://assets.fluke.com/apnotes/it\\_products/Anbtsc.pdf](http://assets.fluke.com/apnotes/it_products/Anbtsc.pdf).
- [25] Presentación del Ing. José Simonetta. *“La Televisión Digital Terrestre en América Latina”*. Centro Argentino de Ingenieros. 2004. [www.paginadigital.com/download/TD-America-Latina.pdf](http://www.paginadigital.com/download/TD-America-Latina.pdf).
- [26] Presentaciones sobre las pruebas y evaluaciones de los sistemas de televisión digital proporcionadas por el Ing. Leonardo Ramos Mateos.
- [27] Reimers, U. *“Digital Video Broadcasting. The International Estándar for Digital Television”*. Editorial Springer. Alemania, 2001.
- [28] Seminario sobre transición analógica digital para la radiodifusión en América Latina. Con la participación del Ing. Leonardo Ramos Mateos. [www.airiab.com/Docum/Seminario.doc](http://www.airiab.com/Docum/Seminario.doc).

- [29] Sgrignoli, Gary. "DTV Field Test Methodology and Results And Their Effect on VSB Receiver Design". IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol 45, No. 3, August 1999. Documento PDF. [www.zenith.com](http://www.zenith.com)
- [30] Sparano, David. "What Exactly is 8-VSB Anyway?" 2002. Documento PDF. [www.broadcastpapers.com/whitepapers/paper\\_loader.cfm?pid=344](http://www.broadcastpapers.com/whitepapers/paper_loader.cfm?pid=344)
- [31] Stremler, F. "Introducción a los Sistemas de Comunicación". Editorial Adisson Wesley Longman México, 1998.
- [32] Todd, Craig C, y etal. "AC-3: Flexible Perceptual Coding for Audio Transmission and Storage". Dolby Laboratories, San Francisco, 1994. [http://www.dolby.com/assets/pdf/tech\\_library/37\\_ac3-flex.pdf](http://www.dolby.com/assets/pdf/tech_library/37_ac3-flex.pdf).
- [33] Whitaker, Jerry. "DTV Handbook: The Revolution in Digital Video". 3ra. Edición. McGraw-Hill. 2001.
- [34] <http://en.wikipedia.org>
- [35] <http://es.wikipedia.org>
- [36] <http://fibers.org>
- [37] <http://www.hispamp3.com/tallermp3/tutoriales/mp3profundidad/mp3profundidad.shtml>
- [38] <http://icarito.latercera.cl>
- [39] <http://librosvarios.ifrance.com>
- [40] [http://pub.ufasta.edu.ar/SISD/tvigital/atasc\\_dvb.htm](http://pub.ufasta.edu.ar/SISD/tvigital/atasc_dvb.htm)
- [41] <http://www.acronymfinder.com>
- [42] <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-07/btsc.html>
- [43] <http://www.frecuenciaonline.com/espanol/mostrarnoticia.php?id=43&noticiaid=517>
- [44] [www.pergaminovirtual.com.ar/revista/cgi-bin/hoy/archivos/2005/00000856.shtml](http://www.pergaminovirtual.com.ar/revista/cgi-bin/hoy/archivos/2005/00000856.shtml)
- [45] [http://www.psp.com/pages\\_frames/tech\\_talk/atasc\\_report.htm](http://www.psp.com/pages_frames/tech_talk/atasc_report.htm)
- [46] <http://www.qsl.net/zl1vfo/nicam>
- [47] <http://www.sct.gob.mx>
- [48] <http://www.tvyvideo.com>

## Lista de Figuras

	<b>PAG</b>
Figura 1.1.1. a) Disco de Nipkow, b) Principio de la captura de imágenes con base en el disco de Nipkow.	18
Figura 1.1.2. a) Principio de funcionamiento del tubo iconoscopio, b) condensador formado entre las celdas de la placa fotoeléctrica y un electrodo común detrás de ésta.	19
Figura 1.2.1. a) Imagen fija; ilustra la información de imagen, b) Vista amplificada; muestra los elementos individuales de la imagen.	20
Figura 1.2.2. Reproducción de una imagen duplicando sus elementos de imagen.	21
Figura 1.2.3. Cómo se realiza el barrido lineal horizontal, línea por línea.	21
Figura 1.2.4. Información de la señal de video para el barrido de una línea horizontal.	23
Figura 1.2.5. Cuadros de imagen de una tira de película cinematográfica.	24
Figura 1.2.6. Cómo se barren los dos campos. a) Campo impar, 262 ½ líneas. b) Campo par, 262 ½ líneas.	26
Figura 1.3.1. Configuración de espejos para separar la imagen en sus tres colores primarios.	29
Figura 1.3.2. Proceso de codificación y formación de la señal de video compuesta.	30
Figura 1.3.3. Pulso de borrado horizontal junto con la ráfaga de 3.58 MHz.	31
Figura 1.3.4. a) Rueda de color estándar de la transmisión de televisión, b) tabla donde se muestran los ángulos de fase respectivos a cada color.	32
Figura 1.3.5. Espectro de la señal de video compuesta para la radiodifusión de televisión a color.	32
Figura 1.3.6. Diagrama a bloques en tres etapas de un receptor de televisión a color.	33
Figura 1.3.7. Circuitos demoduladores de color.	33
Figura 1.5.1. a) Espectro de la señal de FM estéreo, b) Espectro de la señal del estándar BTSC.	40-41
Figura 1.5.2. Ejemplo de un despliegue de imagen en imagen en un televisor.	43
Figura 1.5.3. Imagen de las pantallas de TV en formato 4:3 y formato 16:9.	44

Figura 2.1.1.	Canal de 6 MHz donde se muestran las posibilidades de transmisión de televisión digital dentro del ancho de banda de 6 MHz.	48
Figura 2.3.1.	Muestreo de una señal analógica.	54
Figura 2.3.2.	Proceso de muestreo ( $\tau$ = tiempo de muestreo; $T = 1/f$ ; intervalo de muestreo): a) entrada y b) salida muestreada $f_s(t)$ .	54
Figura 2.3.3.	Señal de banda limitada.	55
Figura 2.3.4.	Operación de muestreo ideal.	56
Figura 2.3.5.	Muestreo natural de una señal de banda limitada por medio de impulsos.	57
Figura 2.3.6.	Muestreador práctico.	58
Figura 2.3.7.	Muestreo natural de una señal de banda limitada a través de pulsos rectangulares de duración $d$ .	59
Figura 2.3.8.	Tipos de modulación discreta.	60
Figura 2.3.9.	Proceso para la señal PCM.	60
Figura 2.3.10.	Cuantización y codificación de una señal continua en el tiempo.	61
Figura 2.3.11.	Muestreo y retención de una señal continua	62
Figura 2.3.12.	Tiempo de carga del condensador como función de la capacitancia y resistencia eléctrica.	62
Figura 2.3.13.	Característica de entrada y salida de un compresor de señales.	63
Figura 2.3.14.	Curva logarítmica.	63
Figura 2.3.15.	Señal unipolar NRZ y su espectro de densidad de potencia.	64
Figura 2.3.16.	Señales NRZ y RZ para representar datos binarios.	64
Figura 2.3.17.	Representación grafica del código AMI.	65
Figura 2.3.18.	Lógica del código HDB3.	65
Figura 2.3.19.	Detector de pulsos binarios.	66
Figura 2.3.20.	Convertidor Digital/Analógico.	67
Figura 2.4.1.	Secuencia de imágenes GOP.	71
Figura 2.4.2.	Capas que conforman al MPEG.	72
Figura 2.4.3.	Diagrama de un codificador MPEG.	74
Figura 2.4.4.	Diagrama de un codificador MPEG.	75

Figura 2.5.1.	Sensibilidad del oído humano como función de la frecuencia (señal A es audible).	78
Figura 2.5.2.	Efecto de enmascaramiento en frecuencia (señal A es enmascarada por la señal B).	78
Figura 2.5.3.	Efecto de enmascaramiento temporal.	79
Figura 2.5.4.	En la codificación de la sub-banda, el caso más desfavorable tiene lugar cuando el tono de enmascaramiento se encuentra en el límite superior de la sub-banda.	80
Figura 2.5.5.	a) diagrama a bloque de un codificador de sub-bandas, b) diagrama a bloques de un decodificador de sub-bandas.	81
Figura 2.5.6.	Transitorio en el final de un bloque de una transformada.	82
Figura 3.1.1.	Modelo de sistema de televisión digital terrestre presentado por la UIT-R.	87
Figura 3.2.1.	Codificación de video en relación al sistema DTV.	90
Figura 3.2.2.	Codificación y área activa.	97
Figura 3.3.1.	Subsistema de audio del estándar de televisión digital ATSC.	99
Figura 3.3.2.	Vista general del sistema de compresión de audio.	100
Figura 3.3.3.	Diagrama funcional de bloques desglosado del codificador AC-3.	101
Figura 3.3.4.	Cuadro de sincronización AC-3.	104
Figura 3.3.5.	Diagrama de bloques de los procesos del decodificador de audio AC-3.	105
Figura 3.4.1.	Conversión de un flujo elemental (ES) a un flujo elemental empaquetado (PES).	109
Figura 3.4.2.	Cabecera del paquete PES.	109
Figura 3.4.3.	Campo MPEG-2 de PTS o DTS y bits de marca.	111
Figura 3.4.4.	a) Formación de paquetes TS a partir de los paquetes PES, b) Estructura de un paquete TS.	112
Figura 3.4.5.	Estructura de la cabecera de un paquete TS.	113
Figura 3.4.6.	Estructura de la cabecera del campo de adaptación.	114
Figura 3.4.7.	Conformación del flujo de transporte a partir de diferentes paquetes TS con flujos elementales de diferentes señales.	115
Figura 3.4.8.	Multiplexaje MPEG-2 de dos programas.	116
Figura 3.4.9.	Representación de una tabla PAT.	118
Figura 3.4.10.	Ejemplo de una tabla PMT.	119
Figura 3.4.11.	Comienzo de una primera sección dentro de un paquete TS.	119



Figura 3.5.1.	Diagrama a bloques de un transmisor VSB.	121
Figura 3.5.2.	Diagrama conceptual del entrelazador de datos.	123
Figura 3.5.3.	Segmento de datos en banda base ATSC.	125
Figura 3.5.4.	Campo de datos en banda base ATSC.	125
Figura 3.5.5.	La señal en banda base de 8 niveles es modulada en AM sobre la portadora de frecuencia intermedia (IF).	127
Figura 3.5.6.	Espectro de doble banda lateral creado en Modulación AM. Se observa que éste espectro de creado por la modulación AM de la señal en banda base sobre la portadora de IF es mucho más grande que el canal de 6 MHz de RF.	127
Figura 3.5.7.	Espectro en frecuencia de la señal de radiofrecuencia 8-VSB. Notese la presencia de la señal piloto ATSC en el extremo del canal. La banda lateral inferior (debajo de la frecuencia de la señal piloto) está casi completamente removida.	128
Figura 3.5.8.	Efectos del filtro Nyquist sobre la envolvente de RF 8-VSB. En la parte superior de la figura se ve la envolvente de la doble banda lateral de frecuencia intermedia antes del filtrado de Nyquist. En la parte inferior de la imagen esta la misma señal de frecuencia intermedia después del filtrado de Nyquist. Las cuadraturas de las transiciones son pérdidas y la envolvente adquiere la apariencia como de ruido.	129
Figura 3.5.9.	Diagrama de ojo 8-VSB.	129
Figura 3.5.10.	Constelación de la señal 8-VSB vs. 64 QAM.	130
Figura 3.6.1.	Diagrama de bloques del sistema de receptor VSB de televisión digital para el estándar ATSC.	131
Figura 3.6.2.	Diagrama de bloques del sintonizador.	132
Figura 3.6.3.	Diagrama de bloques del sintonizador, amplificador de frecuencia intermedia y el FPLL que permiten la recuperación de portadora.	133
Figura 3.6.4.	Sincronización de segmento y recuperación del reloj de símbolo con AGC.	134
Figura 3.6.5.	Recuperación de la sincronía del campo de datos.	136
Figura 3.6.6.	a) componentes de la señal NTSC, b) respuesta del filtro peine, c) espectro de la señal de televisión digital, d) espectro de la señal de televisión digital desplazada.	137
Figura 3.6.7.	Circuito de rechazo a interferencia.	138
Figura 3.6.8.	El ecualizador consiste de dos partes; un filtro transversal con de seguimiento de 64 etapas seguido por un filtro de 192 etapas realimentado. El ecualizador opera a una velocidad de símbolo de 10.762 MHz.	140

Figura 3.6.9.	Desentrelazador de código trellis.	141
Figura 3.6.10	Decodificación de trellis con y si filtro de rechazo NTSC.	142
Figura 4.1.1.	Patrones sugeridos en el documento A/75 de ATSC para la medición de clusters.	148
Figura 4.1.2.	Diagrama de bloques del vehículo de pruebas de campo de DTV típico.	148
Figura 4.1.3.	Datos numéricos obtenidos en un receptor ATSC/8VSB.	153
Figura 4.1.4.	Espectro de una señal 8VSB, a) con supresión de banda lateral residual buena, b) con supresión de banda lateral residual pobre.	154
Figura 4.1.5.	Diagrama de constelación de una señal ATSC en la presencia de un ruido ligero.	155
Figura 4.1.6.	Diagrama de constelación 8VSB, a) con desviaciones de fase ruido, b) con deterioro debido al ruido.	155
Figura 4.2.1.	a) lugares para evaluación de los sistemas de TV digital en la ciudad de México, b) clasificación de zonas conflicto.	158-159
Figura 5.3.1.	Fragmento del Diario Oficial de la Federación que contiene el Acuerdo para adoptar el A/53 de ATSC y la Política de Transición a la TDT.	170
Figura 5.3.2.	Fragmento del Diario Oficial de la Federación que contiene el anexo con la información requerida para concesionarios y permisionarios para el seguimiento de la transición a la televisión digital terrestre.	172

## Lista de Tablas

	<b>PAG</b>
Tabla 1.4.1. Adición de componentes de luminancia y crominancia para seis colores saturados.	35
Tabla 1.4.2. Relaciones de fase para señal de crominancia corregida.	36
Tabla 1.4.3. Combinaciones posibles para el sistema NTSC.	38
Tabla 1.4.4. Combinaciones posibles para el sistema PAL.	39
Tabla 1.4.5. Combinaciones posibles para el sistema SECAM.	39
Tabla 2.2.1. Características básicas del formato ATSC.	51
Tabla 2.2.2. Características básicas del formato DVB.	52
Tabla 2.4.1. Estándares internacionales de codificación de imágenes.	68
Tabla 2.4.2. Combinaciones de perfiles y niveles.	75
Tabla 2.4.3. Niveles y perfiles del MPEG-2.	76
Tabla 3.2.1. Formatos de video la televisión digital estándar.	91
Tabla 3.2.2. Formatos estandarizados de entradas de video.	91
Tabla 3.3.1. Tasas de bits típicas para los servicios de audio.	108
Tabla 3.4.1. Estructura de la cabecera de un paquete TS.	113
Tabla 3.4.2. Cabecera del campo de adaptación.	114-115
Tabla 4.2.1. Características de transmisión de los estándares durante su evaluación en México.	160
Tabla 4.2.2. Resultados de recepción obtenidos durante la evaluación de los sistemas de televisión digital.	160
Tabla 4.2.3. Conclusiones sobre la evaluación de los estándares de TV digital en México.	161
Tabla 5.1. Canales de televisión digital de Televisa, asignados por la SCT y en operación (actualizados al 28 de Abril de 2006).	168

## Lista de acrónimos y siglas

### A

A/D	Analógico a Digital (conversión)
Abert	Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão – Asociación Brasileña de Emisoras de Radio y Televisión
AC-3	Audio Coding 3 – Codificación de Audio 3
ACAP	Advanced Common Application Plataform – Plataforma de Aplicación Común Avanzada
ACATS	Advisory Committe on Advanced Television Service – Comité Asesor de Servicio de Televisión Avanzado
AFD	Active Format Description – Descripción del Formato Activo
AFPC	Automatic Frequency and Phase Control – Control Automático de Frecuencia y Fase
AGC	Automatic Gain Control – Control Automático de Ganancia
AGL	Above Ground Level – Sobre el Nivel del Suelo
AM	Amplitud Modulation
AMI	Alternate Mask Inversion - Inversión Alternada de Marcas (código de línea)
ASPEC	Adaptative Spectral Perceptual Entropy Coding
ATSC	Advanced Television System Committe – Comité de Sistemas de Televisión Avanzadas
APC	Automatic Phase Control – Control Automático de Fase
ATV	Advanced Television – Televisión Avanzada

### B

BAP	Bits Allocation Pointer – Apuntadores de Asignación de Bits
BER	Bit Error Rate – Tasa de Errores de Bits
BTSC	Broadcast Television System Committe – Comité de Sistemas de Radiodifusión de Televisión

### C

CAT	Condiciona Access Table – Tabla de Acceso Condicional
CCD	Charge Coupled Device
CCETT	Centre Commun d'Etudes de Teledifusión et de Télécommunication – Centro Común de Estudios de teledifusión y de Telecomunicaciones
CCIR	International Radio Consultative Committee – Comité Consultivo Internacional de Radio
CCTDR	Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión
CFR	Code of Federal Regulations – Código de Regulaciones Federales
CIRT	Cámara Nacional de la Industria de la Radio y Televisión
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CRC	Cyclic Redundancy Check - Códigos de Redundancia Cíclica
CRTC	Canadian Radio-television and Telecommunications Commission – Comisión Canadiense de Radio-Televisión y Telecomunicaciones
CVCT	Cable Virtual Channel Table - Tabla de Canal Virtual Terrestre

### D

D/A	Digital a Analógico (conversión)
DAB	Digital Audio Broadcasting – Radiodifusión de Audio Digital

DCT	Discrete Cosine Transform – Transformada Discreta de Coseno
DDC	
DFS	Data Field Sync – Sincronización de Campo de Datos
DPCM	Differential Pulse Code Modulation
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSP	Digital Signal Processor – Procesador Digital de Señales
DSS	Data Segment Sync – Sincronización de Segmento de Datos
DTS	Decoding Time Stamps – Indicadores de Tiempo de Decodificación
dTTb	Digital Terrestrial Television Broadcasting
DTTV-SA	Digital Terrestrial Television-System Aspects
DTV	Digital Television
DVB	Digital Video Broadcasting – Radiodifusión de Video Digital
DVD	Digital Video Disk

## **E**

EDTV	Enhanced Definition Television – Televisión de Definición Mejorada
EIA	Electronics Industry Association – Asociación de Industrias Electrónicas
EIT	Event Information Table – Tabla de Información de Eventos
EPG	Electronic Program Guide – Guía Electrónica de Programación
ERP	Effective Radiated Power – Potencia Radiada Efectiva
ES	Elementary Stream
ETSI	European Telecommunications Standards Institute – Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
ETT	Extended Text Table - Tabla de Texto Extendido

## **F**

FCC	Federal Communications Commission – Comisión Federal de Comunicaciones
FDM	Frequency Division Multiplex – Multiplexaje por División de Frecuencia
FEC	Forward Error Corrección – Detección y Corrección de Errores
FFT	Fast Fourier Transform – Transformada Rápida de Fourier
FM	Frequency Modulation
FM-FM	Modulación en Frecuencia de doble portadora
FPLL	Frequency and Phase Locked Loop
FUNTEL	Fondo para el Desarrollo de la Tecnología de las Telecomunicaciones (Brasil)

## **G**

GOP	Group of Pictures – Grupo de Imágenes
GPS	Global Position System – Sistema de Posicionamiento Global

## **H**

HAAT	Height Above Average Terrain – Altura Sobre el Terreno Promedio
HANA	High-Definition Audio-Video Network Alliance
HD-DIVINE	High Definition Digital Video Narrow-Band Emission
HDB3	High Density Binary 3
HDTV	High Definition Television – Televisión de Alta Definición

## **I**

ICPM	Incidental Carrier Phase Modulation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	Intermediate Frequency – Frecuencia Intermedia
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

IRT Institute für Rundfunktechnik – Instituto para la Radio Tecnología  
 ISDB Integrated Services Digital Broadcasting – Radiodifusión de Servicios Integrados Digitales  
 ISDN Integrated Services Digital Network  
 ISO International Standard Organization

**J**

JPEG Joint Photographic Experts Group

**L**

LDTV Low Definition Television – Televisión de Definición Limitada  
 LMS Least Mean Square  
 LNA Low Noise Amplifier – Amplificador de Bajo Ruido  
 LO Local Oscillator – Oscilador Local

**M**

MDCT Modified Discrete Cosine Transform – Transformada Discreta de Coseno Modificada  
 ME Música y Efectos (Servicio Principal de Audio de AC-3)  
 MFN Multi Frequency Networks – Redes Multifrecuencia  
 MGT Master Guide Table -Tabla de Guía Maestra  
 ML Main Level – Nivel Principal  
 MPEG Moving Picture Experts Group – Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento  
 MP Main Profile – Perfil Principal  
 MUSICAM Masking Universal Sub-band Integrated Coding and Multiplexing  
 MTS Multichannel Television Sound – Sonido de Televisión Multicanal

**N**

NICAM Near Instantaneously Audio Multiplex  
 NIT Network Information Table - Tabla de Información de Red  
 NRZ Non Return to Zero  
 NTSC National Television System Committee – Comité del Sistema de Televisión Nacional

**O**

OPCR Original Program Clock Reference

**P**

PAL Phase Alternation Line – Línea de Alternación de Fase  
 PAM Pulse Amplitu Modulation – Modulación por Amplitud de Pulsos  
 PASC Precision Adaptive Subband Coding  
 PAT Program Association Table - Tabla de Asociación de Programas  
 PCM Pulse Code Modulation – Modulación de Pulsos Codificados  
 PCR Program Clock Reference  
 PDA Personal Digital Assistant  
 PES Packetized Elementary Stream – Flujo Elemental Empaquetado  
 PID Packet Identifier – Identificador de Paquete  
 PiP Picture in Picture – Imagen en Imagen  
 PLL Phase Locked Loop – Lazo Cerrado de Fase

PMT	Program Map Table - Tabla de Mapa de Programa
PRS	Pseudo-Random Sequence – Secuencia Pseudo-Aleatoria
PSI	Program Specific Information Información Especifica de los Programas
PSIP	Program and System Information Protocol -Protocolo de Información de Programas y de Sistema
PTS	Presentation Time Stamps – Indicadores de Tiempo de Presentación

## **Q**

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

## **R**

R-S	Reed-Solomon (codificación)
RGB	Reed-Green-Blue
RRT	Region Rating Table – Tabla de Clasificación de Región

## **S**

S/N	Relación Señal a Ruido
SAW	Surface Acoustic Wave
SBTV	Sistema Brasileño de Televisión Digital
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SDTV	Standard Definition Television – Televisión de Definición Estándar
SECAM	Séquential Couleur à Mémoire
SER	Segment Error Rate – Tasa de Errores de Segmento
SET	Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão – Sociedad Brasileña de Ingeniería en Televisión
SFN	Single Frequency Network - Redes de Frecuencia Única
SI	Service Information – Información de Servicio
SIF	Source Intermediate Format
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers – Sociedad de Ingenieros de Imágenes en Movimiento y Televisión
STT	System Time Table - Tabla de Tiempo de Sistema

## **T**

TDAC	Time Domain Aliasing Cancellation – Cancelación de Redundancia en el Dominio del Tiempo
TDT	Televisión Digital Terrestre
TOV	Threshold Of Visibility – Umbral de Visibilidad
TS	Transport Stream – Flujo de Transporte
TSDT	Transport Stream Description Table
TVCT	Terrestrial Virtual Channel Table Tabla de Canal Virtual Terrestre

## **U**

UHF	Ultra High Frequency – Frecuencia Ultra Alta
UIT BR	Unión Internacional de Telecomunicaciones- Sector Radiocomunicaciones
UTC	Universal Time Coordinated

## V

VCO	Voltage Controlled Oscillator – Oscilador de Voltaje Controlado por Voltaje
VHF	Very High Frequency – Frecuencia Muy Alta
VI	Visually Impaired
VSA	Vector Signal Analyzer
VSB	Vestigial Side Band – Modulación de Banda Lateral Residual